

**APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE MATRICES EN EL DESARROLLO DE  
HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) MÍNIMAMENTE  
PROCESADOS, FORTIFICADOS CON VITAMINAS C, E Y MINERALES  
CALCIO Y ZINC.**

**MARILZA PIEDAD RUIZ RUIZ**

**MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**MEDELLÍN, 2009**

**APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE MATRICES EN EL DESARROLLO DE  
HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) MÍNIMAMENTE  
PROCESADOS, FORTIFICADOS CON VITAMINAS C, E Y MINERALES  
CALCIO Y ZINC.**

**MARILZA PIEDAD RUIZ RUIZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ciencia y Tecnología  
de Alimentos**

**Dirigido por:**  
**MISAELE CORTÉS RODRIGUEZ**  
**PhD. Ingeniería de Alimentos**

**MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MEDELLÍN**

*...a Luis Eduardo Henríquez*

*Con mi amor y profundo agradecimiento, por su constante y entusiasta apoyo, su amor y su compañía, y sus incansables esfuerzos para asegurar que este trabajo se terminará y logre mis metas.*

*El señor te bendiga.*

**Nota de aceptación**

**Firma del presidente del jurado**

**Firma del jurado**

**Firma del jurado**

Medellín, 27 de julio de 2009

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por mostrarme todos los amargos, para que pudiera detectar el más pequeño sabor a dulce. Soy una mujer muy bendecida.

A mi compañero de este camino, Luis Eduardo Henríquez, por estar conmigo ayudándome siempre por encima de todo, con su amor y dedicación.

A mi extraordinaria familia (mi excelente madre, mi hermanita querida, mi hermano y mi plaguita de sobrina, mis perritos y gaticos) por todo el apoyo que me han brindado siempre, su comprensión, trasnochos y compañía durante todo este tiempo.

Mis más sinceros agradecimientos a mi Director de tesis, profesor Misael Cortés Rodríguez, por su excelente orientación y apoyo, tanto en la consecución de recursos como en la realización de este trabajo. Gracias a su valiosa ayuda fue posible la realización de esta tesis.

A mis amigos Fernando Martínez y María Eugenia Álvarez, por sus palabras de aliento y su valiosa amistad.

Al Laboratorista Fernando Arenas (Laboratorio de Frutas y Hortalizas), al Profesor Orlando Ruiz (Director de Laboratorio de Suelos), y a Liliana Gómez (Secretaria del Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos) porque con su enorme colaboración facilitaron este proceso.

A la Universidad Nacional de Colombia, a la Fundación Intal, a la Empresa Bioecológicos S.A. y a Colciencias por los aportes de financiación y préstamo de instalaciones para el desarrollo de la fase experimental.

Y en general, a todos aquellos que contribuyeron de alguna forma en el desarrollo de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>28</b>
 <b>CAPITULO 1.....</b>	 <b>29</b>
Influencia del empaque y el envasado en atmósferas modificadas sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.)	
RESUMEN.....	29
ABSTRACT.....	29
INTRODUCCIÓN.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
CONCLUSIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
 <b>CAPITULO 2.....</b>	 <b>50</b>
Hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.) mínimamente procesados tratados por impregnación al vacío con una solución conservante	
RESUMEN.....	50
ABSTRACT.....	50
INTRODUCCIÓN.....	51
MATERIALES Y MÉTODOS.....	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
CONCLUSIONES.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
 <b>CAPITULO 3.....</b>	 <b>72</b>
La ingeniería de matrices como herramienta en el desarrollo de hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.) mínimamente procesados, fortificados con vitaminas C, E, calcio y zinc	

RESUMEN.....	72
ABSTRACT.....	72
INTRODUCCIÓN.....	73
MATERIALES Y MÉTODOS.....	75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
CONCLUSIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
 <b>CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	 95
<b>BIBLIOGRAFÍA DE LA INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>
 ANEXO 1. Instrucciones para los autores revista MVZ.....	 100
ANEXO 2. Instrucciones para los autores revista Vitae.....	103
ANEXO 3. Instrucciones para los autores revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.	107

## LISTA TABLAS

### INTRODUCCIÓN

<b>Tabla 1.</b> Producción en toneladas métricas (estimadas por la FAO, 2008) de hongos comestibles, para los principales países productores.....	21
<b>Tabla 2.</b> Composición química (g/100 g de peso comestible) y contribución energética <i>P. ostreatus</i> .....	23
<b>Tabla 3.</b> Contenido de aminoácidos en <i>P. ostreatus</i> cepa INREB-8 (mg/g de proteína N x 4,38).....	24

### CAPITULO 1

<b>Tabla 1.</b> Características fisicoquímicas del hongo fresco en empaque 1.....	36
<b>Tabla 2.</b> Características fisicoquímicas del hongo fresco en empaque 2.....	36
<b>Tabla 3.</b> Características fisicoquímicas del hongo fresco en empaque 3.....	37

### CAPITULO 2

<b>Tabla 1.</b> Parámetros fisicoquímicos del hongo fresco envasado en el empaque comercial y almacenado durante 12 días.....	57
<b>Tabla 2.</b> Respuesta a la IV del hongo con solución isotónica de NaCl (1,6% p/p) .....	58

### CAPITULO 3

<b>Tabla 1.</b> Cinéticas de degradación de vitamina C en hongos ( <i>Pleurotus ostreatus</i> ) impregnados con la EIF.....	85
<b>Tabla 2.</b> Niveles de calcio y zinc en hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> ) impregnados con la EIF durante el almacenamiento.....	87



## LISTA FIGURAS

### INTRODUCCIÓN

<b>Figura 1.</b> <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	23
<b>Figura 2.</b> Mecanismo de Impregnación a vacío en un poro ideal.....	25

### CAPITULO 1

<b>Figura 1.</b> Valores medios con los intervalos LSD (95%) de $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.) para las caras lisa (CL) y rugosa (CR) de hongos frescos empacados en la muestra control y el empaque 2 (atmósferas 1, 2 y 3) durante el tiempo de almacenamiento.....	39
<b>Figura 2.</b> Valores medios con los intervalos LSD (95%) de $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.) para las caras lisa (CL) y rugosa (CR) de hongos frescos empacados en la muestra control y el empaque 3 (atmósferas 1, 2 y 3) durante el tiempo de almacenamiento.....	40
<b>Figura 3.</b> Valores medios con los intervalos LSD (95%) del parámetro de textura Fuerza de penetración, para hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.) envasados bajo todos los empaques y atmosferas mencionadas durante el almacenamiento.....	43

### CAPITULO 2

<b>Figura 1.</b> Valores medios con los intervalos LSD (95%) de °Brix, $a_w$ , acidez, cloruros, humedad y pH en hongos impregnados con la DI en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado (atmósfera 1: línea continua y atmósfera 2: línea discontinua).....	61
<b>Figura 2.</b> Valores medios con los intervalos LSD (95%) de $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en la CL (línea continua) y CR (línea discontinua) de hongos impregnados con la DI en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.....	63
<b>Figura 3.</b> Valores medios con los intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación (gf) en los hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.) impregnados con una solución conservante en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.....	64
<b>Figura 4.</b> Valores medios de las calificaciones de los atributos sensoriales en los hongos comestibles ( <i>Pleurotus ostreatus</i> L.) impregnados con una solución conservante en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.....	66

### CAPITULO 3

**Figura 1.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de °Brix,  $a_w$ , % acidez, % cloruros, humedad y pH en hongos fortificados (*Pleurotus ostreatus* L.) en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado (atmósfera 1: línea continua y atmósfera 2: línea punteada).....80

**Figura 2.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en las CL (línea continua) y CR (línea punteada) de hongos impregnados fortificados en función del tiempo de almacenamiento y atmósfera de envasado.....82

**Figura 3.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la EIF en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado..... 83

**Figura 4.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) del contenido de vitamina C y E de hongos impregnados, en función del tiempo de almacenamiento y atmósfera de envasado.....84

**Figura 5.** Microestructura de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) frescos y recién impregnados (RI) con la EIF, vistos en diferentes secciones, transversal y CL fresco (a) y (b), y recién impregnados (c), (d), (e) y (f).....89

**Figura 6.** Valores medios de las calificaciones de los atributos sensoriales en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la EIF en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.....90

## RESUMEN

La presente tesis fue realizada con el objetivo de desarrollar un producto mínima

mente procesado con características funcionales a partir del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L., por incorporación de una emulsión impregnación fortificante (EIF) a base de compuestos fisiológicamente activos (CFA): vitamina C y E, y minerales calcio y zinc, utilizando la ingeniería de matrices como metodología de obtención de alimentos funcionales.

El producto fortificado se desarrolló en tres fases. Inicialmente, se realizó la caracterización fisicoquímica del producto fresco, almacenado a 4°C durante 15 días, para determinar la influencia y factibilidad de uso de tres empaques: espuma de poliestireno con película de recubrimiento de polivinil cloruro (empaque comercial: 1), polietilentereftalato con películas de recubrimiento de polipropileno biorientado (BOPP: empaque 2) y polietileno de baja densidad (LDPE: empaque 3); y tres atmósferas de envasado: ambiente, 100% N<sub>2</sub> y mezcla de gases de 10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub>, 80% N<sub>2</sub>, correspondientes a las atmósferas 1, 2 y 3 respectivamente). Los resultados obtenidos, evidencian que la atmósfera 2 y el empaque 3 presentaron condiciones más desfavorables en la calidad del producto fresco. En la segunda fase, se evaluó la respuesta a la impregnación con una solución conservante isotónica aplicada al producto y su influencia en la vida de anaquel, medida en términos de sus características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas. Los resultados obtenidos permitieron definir un efecto positivo de la solución conservante en el producto incrementado la vida de anaquel en un 12,5% con respecto al control.

Finalmente, y de acuerdo a los parámetros de impregnación y la influencia de los conservantes incorporados a esta matriz, se desarrolló el hongo fortificado. La EIF se diseñó con el objetivo de incorporar sobre la base de 100 g de hongo fresco y según el Decreto 288 de 2008 (Min. Protección Social), el 100% del Valor Diario Recomendado (VDR) de Vit.E, 100% VDR Vit.C, 30% VDR zinc. El calcio se adicionó en una relación de 30 mg  $\text{Ca}^{+2}$ /g pectina para favorecer la retención de la EIF al interior de la estructura.

Los hongos impregnados fueron almacenados a 4°C durante 12 días, en el empaque 2 y las atmósferas 1 y 3. Se evaluaron los cambios fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, los contenidos de CFA y la distribución microestructural de la matriz impregnada.

El proceso impregnación a vacío (IV) permitió alcanzar niveles importantes de los CFA por cada 100 g de hongo fresco:  $43,0 \pm 2,33$  mg Vit.C ( $71,7 \pm 3,9\%$  VDR),  $30,91 \pm 6,91$  mg Vit.E ( $103,0 \pm 23,0\%$  VDR),  $4,23 \pm 0,03$  mg Zn ( $28,2 \pm 0,2\%$  VDR) y el calcio, contribuyó a obtener una textura aceptable con características elásticas y una buena resistencia a la deformación con niveles de  $4,58 \pm 0,06$  mg de Ca. Durante el almacenamiento los niveles de vitaminas disminuyeron, hasta niveles aproximados al 3,5% del VDR Vit.C y 7,6% VDR Vit.E, mientras que los minerales se mantuvieron. De acuerdo a las valoraciones instrumentales y sensoriales se fijó un tiempo de vida de anaquel de 12 días (aumento del 50% en la vida de anaquel con respecto al control), lo que permite concluir que la ingeniería de matrices es una metodología efectiva en la fortificación de estructuras porosas como el hongo *Pleurotus ostreatus* L.

**Palabras claves:** *Pleurotus ostreatus* L., impregnación a vacío, fortificación, vitamina E, vitamina C, calcio, zinc.

## ABSTRACT

The objective the present thesis was carried out with to develop a minimally product processed with functional characteristics starting from the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* L., for incorporation an fortificate emulsion (EIF) with physiologically active compound (CFA): vitamin C and E, and mineral calcium and zinc, using the matrix engineering like methodology for obtaining functional foods.

The fortified product was developed in three phases. Initially, was carried out the physiochemical characterization of the fresh product was performed, stored at 4°C during 15 days, to determine the influence and feasibility of use of three packings: polystyrene foam with polyvinyl chloride film (commercial packs: 1), películas polyethylene terephthalate polypropylene bioriented (BOPP: packs 2) and polyethylene of low density (LDPE: packs 3); and three atmospheres of having packed: atmospheric gases, 100% N<sub>2</sub> and mixture of gases of 10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub>, 80% N<sub>2</sub> (Atmospheres 1, 2 and 3, respectively).

The obtained results, evidence that the atmosphere 2 and the packing 3, presented the most unfavorable conditions in quality of fresh product. In the second phase, the impregnation response of product to isotonic conservative solution and its influence in shelf life was evaluated, measure in terms of its physiochemical, sensorial and microbiologicals characteristics. The results obtained allowed to define a positive effect of conservative solution in the increased shelf life of product in 12.5% with regard to the fresh product.

Finally, based on impregnation parameters and the influence from conservative solution incorporate to product, the fortified mushroom was developed. With the objective of incorporating on 100g of fresh mushroom and according to the Ordinance 288 of 2008 (Min. Social Protection), the EIF was design 100% Recommended Daily Value (VDR) of Vit C, 100% VDR Vit E, 30% VDR zinc. Calcium was added in a relationship of 30 mg Ca<sup>2+</sup>/g pectin to favor the retention from the EIF to interior of the structure. The impregnated mushrooms were stored 4 °C during 12 days, in the packing 2 and atmospheres 1 and 3. Were evaluated physiochemical, microbiological and sensorial, the contents of CFA and the microestructural distribution of the impregnated matrix.

The vacuum impregnation process (IV) allowed to reach important levels of the CFA for each 100 g of fresh mushroom: 43,0±2,33 mg Vit.C (71,7±3,9 % VDR), 30,91±6,91 mg Vit.E (103,0±23,0% VDR), 4,23±0,03 mg Zn (28,2±0,2%VDR) and the calcium contributed to obtain an acceptable texture with elastic characteristic and good resistance to deformation with levels of 4,58±0,06 mg Ca. The levels of vitamins diminished during the storage, until approximate levels of 3,5% VDR Vit.C and 7,6% VDR Vit.E, while the minerals stayed. According to the objective and subjective valuations the shelf life time was fixed of 12 days (50% increase in the shelf life with regard to control), what allow to conclude that the matrix engineering is an effective methodology in the fortification of porous structures like the *Pleurotus ostreatus* L. mushroom.

**Key words:** *Pleurotus ostreatus* L., vacuum impregnation, fortification, vitamin E, vitamin C, calcium, zinc.

## INTRODUCCIÓN

Las deficiencias nutricionales encontradas principalmente en la población de los países en vía de desarrollo es un problema planteado desde las entidades gubernamentales. En el caso de Colombia, el Ministerio de Protección Social a través del Instituto de Bienestar Familiar (ICBF), actuando como coordinador del Plan Nacional de Alimentación y Nutrición, está a la espera de encontrar propuestas institucionales para la fortificación de nuevos alimentos. En el país se han adquirido compromisos internacionales en este sentido que vienen desde la Cumbre Mundial en 1990 a favor de la infancia, en la Conferencia Internacional de Nutrición en Roma de 1992, en la cumbre Mundial de Alimentación en 1996, en la Cumbre del Milenio 2000 y en la cumbre Mundial de la Alimentación en el 2002, que buscan mejorar el estado nutricional de la población (ICBF, 2005).

En la búsqueda de nuevas alternativas de alimentación saludable, se hace necesaria la aplicación de tecnologías existentes, hasta ahora subutilizadas a nivel industrial como la ingeniería de matrices, la cual es una herramienta de la ingeniería de alimentos que utiliza los conocimientos de la composición, estructura y propiedades de la matriz estructural de un alimento, para producir y controlar cambios que mejoren alguna de sus propiedades funcionales y/o nutricionales (BETORET *et al.*, 2003). La ingeniería de matrices recurre a la técnica de impregnación a vacío (IV) como mecanismo de incorporación de componentes en el desarrollo de nuevos alimentos, dentro de los cuales se encuentran los alimentos funcionales.

El presente trabajo de investigación se realizó para incorporar dentro de la matriz del hongo (*Pleurotus ostreatus* L.) ingredientes funcionales o compuestos fisiológicamente activos (CFA) como las vitaminas C, E y los minerales calcio y zinc, mediante la técnica de IV, cuya finalidad es la obtención de un producto con valor agregado y características funcionales. El municipio de Rionegro (Antioquia) y COLCIENCIAS, cofinanciaron esta propuesta, la cual se ejecutó en alianza con entidades académicas (Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín), el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y centros de investigación (Fundación INTAL). Además, esta propuesta pretende colaborar con esto incrementar su consumo en la diversificación de la explotación agrícola como una oportunidad de negocio para la región.

**Alimentos funcionales** Han sido definidos por la Academia Nacional de Ciencia de los Estados Unidos como “cualquier alimento o ingrediente alimenticio modificado, que pueda proporcionar un beneficio a la salud superior al de los nutrientes tradicionales que contiene” (THOMAS y EART, 1994).

Existen actualmente 11 categorías de ingredientes funcionales o compuestos fisiológicamente activos (CFA) incluidos en el sistema FOSHU, por sus siglas en inglés: *Foods Specified for Human Health* o *Food for a Specific Health Use*, que incluyen la fibra alimentaria, oligosacáridos, alcoholes derivados de azúcares, ácidos grasos poliinsaturados, péptidos y proteínas, glucósidos,



isoprenoides y vitaminas, alcoholes y fenoles, colinas (lecitina), bacterias ácido lácticas (BAL) y minerales (macrominerales y microminerales) (MAZZA, 2000).

La producción de alimentos funcionales se ha convertido en un gran reto durante los últimos años para la industria nacional debido a la gran acogida que estos han tenido en países desarrollados tales como Estados Unidos, Japón y países de la Comunidad Europea.

En la actualidad alimentos reconocidos por su actividad antioxidante son muy requeridos por la población, debido a que los CFA que le confieren estas características, son compuestos que interrumpen las reacciones en cadena que producen los radicales libres, neutralizándolos por donación de sus hidrógenos fenólicos; éstos son muy usados en la industria de alimentos por su capacidad conservadora; además, retardan el desarrollo del olor rancio, disminuyen la posibilidad de generación de compuestos tóxicos, evitan la decoloración de los pigmentos, controlan cambios en la textura, disminuyen la pérdida de valor nutricional causada por la degradación de los ácidos grasos esenciales y de las vitaminas A, D y E (ROSAS-ROMERO, 2004).

Numerosas enfermedades se asocian con la formación del oxígeno reactivo y la inducción de la peroxidación lipídica: las especies de oxígeno reactivo constituyen un mecanismo de injuria tisular y son relevantes en procesos de inflamación y envejecimiento, en trastornos cardiovasculares y neurodegenerativos, etc. (RAMARATHMAN *et al.*, 1996).

Esto ha conducido a una intensa investigación del uso de antioxidantes presentes en los alimentos, así como, en alimentos a los que se les han incorporado por otras fuentes, con el objetivo de contribuir en la prevención de algunas enfermedades. Estas investigaciones, han impulsado la consideración de algunos alimentos con propiedades antioxidantes en aplicaciones farmacológicas y terapéuticas para tratamientos de prevención de enfermedades como el cáncer y con efectos favorables para la salud en general (TYMOSCHOUK, 2004).

Minerales como el calcio y zinc son de gran importancia para el organismo. El calcio tiene una función estructural, ya que hace parte de los huesos y de los dientes, además, juega un papel importante en la mayoría de los procesos metabólicos. Si el nivel de calcio en la sangre es bajo, entonces se obtiene de los huesos. El calcio contribuye en la formación y el mantenimiento de una masa ósea y dientes fuertes y sanos, en la prevención de enfermedades como la osteoporosis, el cáncer de colon, problemas nerviosos, la contracción de músculos, la coagulación de la sangre, entre otros (BROUNS y VERMEERC, 2000). Además el calcio contribuye a favorecer la textura del producto (SHAM *et al*, 2001). El zinc, tienen una gran función metabólica al ser un cofactor enzimático y excelentes funciones en el aparato reproductor y la piel (MORENO, 2000); además tienen un efecto sinérgico con los componentes con actividad antioxidante como las vitaminas C y E.

Los hongos, han sido reportados como alimentos terapéuticos, usados en la prevención de enfermedades como la hipertensión, hipercolesterolemia y el cáncer (BOBEK y GALBAVY, 1999; BOBEK *et al.*, 1995). Estas características funcionales son debidas principalmente a la fibra dietaria presente y en particular, a la quitina, un polisacárido estructural de las paredes celulares, y el betaglucano (MANZI y PIZZOFERRATO, 2000), los homo y heteroglucanos con enlaces  $\beta(1-3)$ ,  $\beta(1-4)$  y  $\beta(1-6)$ .

El hongo (*Pleurotus ostreatus* L.) se encuentra en la lista de 37 especies de hongos descritas por GUZMÁN (1994), utilizadas en la medicina tradicional de Mesoamérica y México. Se describe como uno de los hongos que producen retardo del crecimiento de tumores, posiblemente por la acción del compuesto polisacárido betaglucano que actúa como potenciador de la defensa del huésped. Estos CFA, sumados a las bondades naturales del hongo (*Pleurotus ostreatus* L.), como su alto contenido de potasio (recomendado para mujeres embarazadas), altos contenidos de fibra, bajo aporte calórico, alto valor nutricional, presencia de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, hacen esta matriz alimentaria, una buena alternativa para el desarrollo de un producto mínimamente procesado con valor agregado, que contribuya estimular un mayor consumo en la población.

**Consumo de hongos comestibles** Durante los últimos años, el consumo de hongos comestibles se ha incrementado en forma importante (CHAVARRÍAS, 2005), principalmente en los países desarrollados, como consecuencia del

aumento de calidad de vida, la mayor concientización en nuestro entorno y la degustación de nuevos alimentos. Todo ello, unido al incremento de los conocimientos biotecnológicos, que permite ofertar cada día un abanico mayor de especies de hongos, de mayor calidad y con independencia de las condiciones climatológicas; además, numerosos hongos comestibles cultivados se destacan por sus propiedades nutricionales y medicinales. Al analizar las cualidades nutritivas de los hongos comestibles, se concluye que estos son un alimento de futuro, ya que contienen muy bajas cantidades de grasa, con un alto contenido relativo en ácidos grasos poliinsaturados, presentan elevada cantidad de sales minerales y una cantidad apreciable de proteínas (20-35 % en peso seco) que contienen todos los aminoácidos esenciales y especialmente ricos en lisina y leucina (que generalmente faltan en la mayoría de los cereales básicos) y vitaminas del complejo B (B1, B2, B12), entre otras (Socmicolmadrid, 2009). El *Pleurotus ostreatus* L. presenta un gran valor nutricional lo que le ha permitido ser catalogado como la carne vegetal, por poseer el doble del contenido proteico que los vegetales tradicionales, además de poseer aminoácidos esenciales (GARCÍA, 2007).

En Colombia, los principales centros de consumo de hongos comestibles están en Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena, Barranquilla y Bucaramanga, debido a que son ciudades con un alto número de habitantes y con mayor nivel de ingresos per cápita promedio (DANE, 2008).

El consumo per cápita mundial de hongos comestibles en el 2001 se estimó en 0,44 kg. al año, con un crecimiento promedio anual de 3,8 %. El consumo mundial es jalonado por países asiáticos con tradición en el consumo y nivel poblacional alto, aunque en los últimos años el consumo de hongos comestibles ha tendido a generalizarse, presentando un amplio potencial de mercado (ACEVEDO *et al.*, 2004).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó un incremento en el mundo del 10,2% en la producción de hongos entre los años 1995 y 2002, superando los 5 millones de toneladas. Los Países Bajos y China lideran el mercado mundial en la producción de champiñones (Consumer, 2009). El crecimiento de la producción de hongos en China entre 1995 y el 2002, coincide con la implementación de una nueva tecnología que facilita la producción intensiva, esto es, más producción en extensiones de tierra cada vez menores (CHAVARRÍAS, 2005). La tabla 1 presenta los datos estadísticos sobre la producción de hongos comestibles a nivel mundial, por los principales países productores en cada año (FAO, 2008).

En Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural no tiene registros de producción de hongos comestibles, no obstante, en algunos municipios se han llevado a cabo proyectos de producción para aprovechar los desechos de cultivos tecnificados (RODRÍGUEZ y JARAMILLO, 2005; ACEVEDO *et al.*, 2004), como el mucílago del café, la cascarilla de arroz y el bagazo de la caña de azúcar, debido al alto potencial del hongo como transformador de residuos

orgánicos, además de sus potencialidades de mercado, tanto nutricional como farmacológicas.

**Tabla 1.** Producción en toneladas métricas (estimadas por la FAO, 2008) de hongos comestibles, para los principales países productores.

País	Producción 2005	Producción 2004	Producción 2003	Producción 2002	Producción 2001
China	1.410.535	1.360.501	1.309.455	1.059.797	969.834
Estados Unidos	391.000	391.000	391.000	377.080	376.980
Países Bajos	260.000	260.000	263.000	270.000	275.000
España	165.000	181.223	129.205	134.669	109.605
Francia	165.000	170.000	165.647	175.288	196.254
Polonia	135.000	130.000	120.000	120.000	110.000
Italia	92.000	94.152	96.090	79.695	79.200
Canadá	85.000	84.682	87.937	75.075	86.357
Reino Unido	74.000	74.000	81.000	84.700	92.600
Irlanda	70.000	70.000	69.000	69.000	68.000
Japón	65.000	64.000	65.400	64.400	66.100
Alemania	65.000	65.000	60.000	62.000	63.000
India	48.000	48.000	48.000	33.000	23.000
Australia	46.265	46.265	39.288	43.412	39.394
Bélgica	43.000	43.000	43.000	42.500	40.500
República de Corea	25.000	25.000	24.957	24.688	21.251
Hungría	22.000	20.000	22.396	20.257	18.414
Viet Nam	18.000	18.000	16.000	16.000	16.000

Fuente: FAO, 2008

Aunque la producción y replicación del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L. son de fácil ejecución, las empresas mantienen un nivel de riesgo comparativamente menor al de los cultivos tradicionales, al presentar requerimientos mas bajos de insumos externos industrializados, principalmente agroquímicos. La poca difusión que se ha realizado de sus beneficios y el poco conocimiento técnico que se tiene sobre sus componentes y conservación, aún no lo hacen un producto de consumo masivo.

### **Generalidades del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L.**

**Taxonómia.** Reino: *Fungi*, Subreino: *Fungi superior*, División: *Basidiomycota*, Subdivisión: *Basidiomycotina*, Clase: *Himenomycetes*, Orden: *Agaricales*, Familia: *Tricholomataceae*, Genero: *Pleurotus* y Especie: *ostreatus*. (AMVA, 2000; ALEXOPOULOS y MIMS, 1996; MENDAZA y DÍAZ, 1981).

La figura 1 muestra su forma, donde el pileo (parte superior del hongo, también conocida como sombrerillo), muy excéntrico y variable, es redondeado, con la superficie lisa, abombada y convexa cuando es joven, con el borde enrollado al principio, aplanándose luego poco a poco. Su textura es firme, carnosa, lisa y húmeda. Crece en racimos arrumados y en forma de abanico. Su formación se debe a la agregación y compactación hifal del micelio, además de una ramificación hifal, ensanchamientos y engrosamiento de la pared hifal (MENDAZA y DÍAZ, 1981).



**Figura 1.** *Pleurotus ostreatus* L.  
Fuente: García, 2007.

**Valor nutricional.** Es considerado como un alimento de gran valor nutritivo debido a su alto contenido de proteína, fibra y minerales (RODRÍGUEZ y

JARAMILLO, 2005). La composición química de *P. ostreatus* es muy variable y su calidad esta influenciada por diferentes parámetros, como el estado de desarrollo y las condiciones pre y post cosecha. En la tabla 2 se ilustra la composición nutricional *Pleurotus ostreatus* L. Estos valores concuerdan con los reportados por SUNANTA *et al.* (1986).

**Tabla 2.** Composición nutricional y contribución energética del *Pleurotus ostreatus* L. (g/100 g de peso comestible).

	Xbh	Proteína	Grasa	Carbo- hidratos	Ceniza	Energía	Fibra soluble	Fibra insoluble
<b>Crudo</b>	91,34	1,61	0,36	6,69	0,89	36	0,43	3,67
<b>Cocido</b>	88,18	2,53	0,48	8,81	1,08	50	0,60	4,65

Fuente: Manzi *et al.*, 2001.

X<sub>bh</sub> como humedad en base húmeda.

Este hongo contiene la mayoría de los aminoácidos esenciales y minerales; contiene vitaminas como la tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido ascórbico, ácido nicotínico y ácido pantoténico; ácido fólico, tocoferol, piridoxina, cobalamina y provitaminas como la ergosterina y carotenos (HINCAPIÉ, 1993). La tabla 3 muestra el contenido de aminoácidos en el *Pleurotus ostreatus* L., donde se obtuvo un porcentaje de digestibilidad de 67,75±0,54.

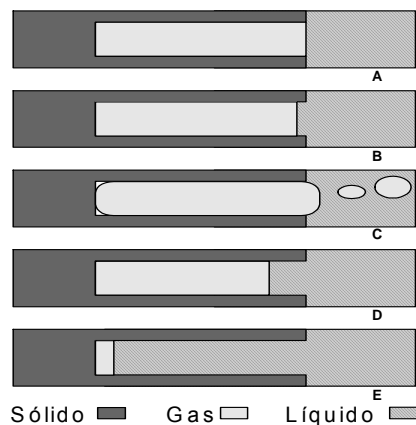
**Tabla 3.** Contenido de aminoácidos en *P. ostreatus* cepa INREB-8 (mg/g de proteína N x 4,38).

Aminoácidos		Aminoácidos esenciales		Patrón de referencia FAO (1985)	Puntaje químico (%)
<b>A. Aspártico</b>	120,50	<b>Histidina</b>	28,60	19	150
<b>Serina</b>	48,36	<b>Treonina</b>	51,25	34	150
<b>A. Glutámico</b>	211,33	<b>Tirosina</b>	35,96	63	57
<b>Glicina</b>	47,45	<b>Valina</b>	51,28	35	146
<b>Arginina</b>	70,70	<b>Metionina</b>	21,16	25	84
<b>Alanina</b>	64,15	<b>Lisina total</b>	72,09	58	92
<b>Prolina</b>	30,55	<b>Isoleucina</b>	43,32	28	154
<b>Cistina</b>	16,40	<b>Leucina</b>	71,57	66	108
<b>Lisina</b>	56,36	<b>Triptofano</b>	19,61	11	178
<b>Fenilalanina</b>	51,10				

Fuente: MAYALA *et al.*, 1999.



**Impregnación a vacío (IV)** El proceso de impregnación a vacío (IV), es descrito por FITO y CHIRALT (2000), FITO y PASTOR (1994) y FITO (1994), como un proceso de transporte de materia en un sistema sólido poroso-líquido, a través de la acción del mecanismo hidrodinámico (HDM). Una ilustración del fenómeno se observa en la figura 2, considerando un poro ideal donde la situación (A) describe el contacto de las fases presentes independientes. Al entrar en contacto el sólido poroso con el medio líquido, se alcanza la situación B donde se produce el ingreso de líquido exterior en el poro por capilaridad debido a la tensión superficial del líquido, dependiendo del diámetro del poro. La aplicación de vacío promueve la expansión del gas en el sistema, acompañado de la salida de parte del gas de los poros, arrastrando o no líquido nativo presente en ellos (situación C). Cuando se alcanza el equilibrio de presiones se produce la entrada capilar de líquido en los poros (situación D). Posteriormente, al restablecer la presión atmosférica en el sistema, se produce la entrada de líquido externo y compresión del gas residual (situación E) (FITO *et al.*, 2001b; SALVATORI *et al.*, 1998a).



**Figura 2.** Mecanismo de Impregnación a vacío en un poro ideal

El modelo establece la relación entre la fracción volumétrica de líquido incorporado ( $X$ ), a través del HDM, las deformaciones volumétricas de la estructura al final de la etapa a vacío y al final del proceso ( $\gamma_1$  y  $\gamma$  respectivamente), la porosidad eficaz ( $\varepsilon_e$ ) del producto y la relación de compresión  $r = P_{\text{atm}} / P_{\text{vacío}}$ , como se muestra en la ecuación 1.

$$\varepsilon_e = \frac{(X - \gamma) r + \gamma_1}{r - 1} \quad (1)$$

La determinación experimental de la deformación volumétrica en la etapa de vacío ( $\gamma_1$ ) es compleja, no obstante, a presiones muy bajas  $r$  es muy grande y puede aceptarse la condición de  $(X - \gamma) r \gg \gamma_1$ . Con esto, la  $\varepsilon_{IV}$  se calcula así a partir de la ecuación 2.

$$\varepsilon_e = (X - \gamma) / (1 - \frac{1}{r}) \quad (2)$$

La actuación acoplada del HDM, está muy afectada por la micro estructura y las propiedades mecánicas del sólido, así como por la viscosidad de la solución externa (FITO *et al.*, 1996; CHIRALT *et al.*, 1999). La respuesta a la impregnación a vacío de algunas frutas y vegetales ha sido analizada con disoluciones isotónicas, determinando la porosidad efectiva ( $\varepsilon_e$ ) en cada caso (ANDRÉS *et al.*, 2001; SALVATORI *et al.*, 1998b).

La impregnación a vacío está afectada por diversos factores: Composición del tejido, la estructura del tejido (tamaño y distribución de poros), el tiempo de

relajación de la matriz sólida, el tamaño y forma de la muestra y de la velocidad de flujo del gas y del líquido durante la acción del HDM, que a su vez depende de la estructura del tejido y de la viscosidad de la solución (CHIRALT *et al.*, 1999; MARTÍNEZ-MONZÓ, 1998).

La técnica de IV promueve cambios composicionales muy rápidos sobre la matriz alimentaria por adición a la solución de impregnación de componentes que aseguran una mejor estabilidad del producto (disminución del pH y  $a_w$ ), incorporación de agentes antimicrobianos o antipardeantes (CHIRALT *et al.*, 1999; TAPIA *et al.*; 1999; MUNTADA *et al.*, 1998; CARROL y THARRINGTON, 1997) o mejora de algunos atributos de calidad (BETORET *et al.*, 2003; GRASS *et al.*, 2003; FITO *et al.*, 2001a; FITO *et al.*, 2001b) y nutricionales. Promueve igualmente cambios en las propiedades mecánicas, estructurales, ópticas y térmicas que afectan la calidad del producto final (FITO y CHIRALT, 2000; MARTÍNEZ-MONZÓ *et al.*, 2000; MARTÍNEZ-MONZÓ, 1998; PITT, 1992).

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

La presente investigación tiene como objetivo general, desarrollar un producto de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) mínimamente procesados, fortificados con vitaminas C y E, y minerales calcio y zinc, aplicando la ingeniería de matrices como metodología de obtención de alimentos funcionales.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la influencia de diferentes empaques y atmósferas modificadas sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus* L.) en estado fresco durante su almacenamiento.
- Aplicar la técnica IV sobre hongos enteros comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) usando una disolución impregnación conservante (DI) a base de ácido ascórbico, ácido cítrico, sal, pectina de bajo metoxilo y calcio, para evaluar su influencia en las propiedades químicas y físicas, sensoriales, y microbiológicas y su efecto en la vida de anaquel.
- Aplicar la técnica IV sobre hongos enteros comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) usando una emulsión con los CFA (vitaminas C y E, calcio y zinc), para evaluar su influencia en las propiedades químicas y físicas, sensoriales, y microbiológicas y su efecto en la vida de anaquel.

## CAPITULO 1

### INFLUENCIA DEL EMPAQUE Y EL ENVASADO EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HONGO COMESTIBLE (*Pleurotus ostreatus* L.)

#### INFLUENCE OF THE PACKING AND THE MODIFIED ATMOSPHERES PACKED ON THE PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF THE EDIBLE MUSHROOM (*Pleurotus ostreatus* L.)

Marilza Ruíz R,<sup>1</sup> M.Sc, Misael Cortés R,\*<sup>1</sup> Ph.D, Luís Eduardo Henríquez,<sup>1</sup> Ing. Agrícola.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Medellín, Colombia.

\*Correspondencia: [mcortesro@unal.edu.co](mailto:mcortesro@unal.edu.co)

**RESUMEN. Objetivo.** Evaluar la influencia de diferentes empaques y atmósferas modificadas sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible fresco (*Pleurotus ostreatus* L.). **Materiales y métodos.** Los hongos fueron almacenados durante 15 días a 4°C, utilizando tres empaques (espuma de poliestireno con película de recubrimiento de polivinil cloruro (empaque comercial), polietilentereftalato con películas de recubrimiento de polipropileno biorientado y polietileno de baja densidad) y tres atmósferas de envasado (ambiente, 100% N<sub>2</sub> y mezcla de gases de 10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> y 80% N<sub>2</sub>), determinando los cambios en las variables fisicoquímicas (pH, acidez, °Brix, humedad, cloruros, color y textura) **Resultados.** Las muestras presentaron diferencias estadísticas significativas en los parámetros fisicoquímicos del hongo fresco por efecto de los factores tiempo, empaque y atmósfera; sin embargo los rangos de variación se consideraron aceptables y enmarcados más en las características propias del producto, como ente biológico que continua con sus procesos metabólicos. Los cambios de color en las condiciones de control (atmósfera ambiente y empaque 1) no fueron muy acentuados, siendo instrumentalmente más apreciable en el empaque comercial, sin llegar a serlo por el observador. La textura en todos los casos presentó una disminución en la resistencia mecánica, debido a los posibles procesos fermentativos, al deterioro por alta tasa metabólica y a los daños mecánicos. **Conclusiones.** En general, los resultados obtenidos permiten identificar que el efecto del empaque y de las atmósferas modificadas no son apreciables en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del hongo *Pleurotus ostreatus* L., lo que hace que el empaque comercial sea más práctico por efecto de costos de producción.

**Palabras claves:** Hongos *Pleurotus ostreatus* L., productos mínimamente procesados, atmósfera modificada, propiedades fisicoquímicas.

**ABSTRACT. Objective.** The influence of different packings and atmospheres modified was evaluated on the physiochemical properties of the edible fresh mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.) **Materials and methods.** The mushrooms were stored at 4°C during 15 days, using three packs (polystyrene foam with polyvinyl chloride films cover (packing commercial), polyethyleneterephthalate with polypropylene bioriented and polyethylene of low density films cover) and three atmospheres (atmospheric gases, 100% N<sub>2</sub> and mixture of gases of 10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> and 80% N<sub>2</sub>), determining the changes on the

physiochemical values (pH, acidity, °Brix, humidity, chlorides, color and texture) **Results.** The samples showed significant statistical differences in the physiochemical parameters on fresh mushroom by effect of the factors time, packing and atmosphere; however the variation ranges were considered acceptable and framed more to the own characteristics of the product, as biological entity that continuous with their metabolic processes. The color changes under the control conditions (atmospheric gases and packing commercial) were not very accented, being instrumentally more appreciable in the commercial packing, without ending up being it for the observer. The texture in all the cases presented a decrease in the mechanical resistance, due to the possible fermentative processes, to the deterioration for high rate metabolic and to the mechanical damages during the manipulation **Conclusions.** In general, the results obtained identifying that the effect of the packing and of the atmospheres modified they are not so appreciable in the properties of the mushroom *Pleurotus ostreatus* L., which makes that the commercial packing is more practical for effect of production costs.

**Keywords:** *Pleurotus ostreatus* mushrooms, minimally processed products, modified atmosphere, physiochemical properties.

## INTRODUCCIÓN

El *Pleurotus ostreatus* es un hongo comestible, reconocido por su alto valor nutritivo.

En los últimos años, debido al cambio en los hábitos alimenticios, se ha registrado un aumento creciente en su consumo per cápita, asociado a su bajo aporte calórico, una baja relación de ácidos grasos saturados a insaturados, 2,0-4,5:1, una relación fibra dietaría total a fibra cruda (5, 7) mayor que la de los vegetales, una buena digestibilidad ( $67,75 \pm 0,54\%$ ) (1, 2), al contenido en compuestos funcionales (betaglucano y glucosamina), aminoácidos esenciales, minerales, vitaminas y provitaminas (3, 4). Además se le atribuyen propiedades medicinales (anticolesterolémica y antitumorales) y antioxidantes (5, 6, 7).

El consumo per cápita mundial de setas y hongos en el 2001 se estimó en 0,44 kg por persona al año, con un crecimiento promedio anual de 3,8%. Este consumo es jalonado por países asiáticos, aunque en los últimos años, ha tendido a generalizarse en países occidentales, presentando un interesante potencial de mercado (8).

La calidad de los hongos es influenciada por diferentes parámetros, como el estado de desarrollo, las condiciones pre y poscosecha y el tipo de sustrato en el que son cultivados. El *Pleurotus ostreatus* L. es un hongo con un alto contenido de humedad, susceptible al ataque microbiológico, a las reacciones de pardeamiento enzimático (9) y al daño mecánico, debido a su estructura epidérmica delgada y porosa.

La respiración de los hongos en general, es alta (200-500 mg/kg h a los 20°C), comparado con otras hortalizas y frutas (10), por lo que requieren mecanismos de empaque más selectivos que promuevan el mantenimiento de las características organolépticas y nutritivas. Para su comercialización, los hongos comestibles son empacados normalmente en bandeja de poliestireno (icopor), recubiertos con una película elástica de polietileno o cloruro de polivinilo (PVC), la cual es adherida al empaque y almacenados bajo refrigeración a 4°C (11).

Algunos autores han evaluado el efecto producido por el envasado en atmósferas modificadas (EAM) en frutas, hortalizas y hongos durante los últimos años con resultados positivos (12).

Algunas investigaciones realizadas en diferentes variedades de hongos comestibles EAM, han demostrado un efectivo control sobre su deterioro: *Agaricus bisporus* (10, 13, 14, 15, 16) *Agrocybe chaxingu* (17); Shiitake *Lentinula edodes* (18). Estudios específicos, han establecido atmósferas modificadas de 5-10 kPa O<sub>2</sub> + 2,5-5 kPa de CO<sub>2</sub> en *Agaricus bisporus* (19), 5% O<sub>2</sub>, 3% CO<sub>2</sub> (15) 5% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub> (14) y de 1 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub> a 4°C por 14 días (20), 1 kPa O<sub>2</sub>/30 kPa CO<sub>2</sub> (21), 12-15 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub> (11) para *Pleurotus* sp.

Por otro lado, algunos autores han encontrado que el EAM puede tener un efecto negativo en algunas variedades de hongos, causado por la respiración anaeróbica como

potencializador del crecimiento de microorganismos patógenos o por la acumulación excesiva de dióxido carbono dentro del empaque, causando daños fisiológicos y severo pardeamiento.

Investigaciones específicas, sobre el efecto en la vida útil del *Pleurotus ostreatus* L., son muy escasas, aunque se ha confirmado que bajo este tratamiento se puede lograr una extensión de la vida útil, debido a la reducción del agua condensada, aunque sin llegar a eliminarse completamente (11).

El propósito de este estudio fue evaluar la influencia de diferentes empaques y atmósferas modificadas sobre las propiedades físicoquímicas del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus* L.) en estado fresco. Se incluye la evaluación del empaque y la atmósfera ambiente con el que actualmente se le comercializa.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Materia prima** Se utilizaron hongos enteros comestibles de la variedad *Pleurotus ostreatus* L., suministrados por la empresa Bioecológicos S.A (Rionegro, Antioquia), seleccionados por apariencia y calidad.

**Caracterización físicoquímica** Se determinó la acidez expresada en % de ácido cítrico por 100 g de producto fresco, por titulación con NaOH 0.1N, según la norma técnica colombiana NTC 4623 (22); el % cloruros, por el método de Mohr NTC 210 (23); el % de humedad (base húmeda) ( $X_{bh}$ ) AOAC 7.003/84 y 930.15/90 adaptado (24); pH, con potenciómetro (Hanna 211, USA); sólidos solubles (°Brix) (refractómetro Carlzeiss Jena, NTC 4624) (22); actividad de agua ( $a_w$ ) con un higrómetro de punto de rocío (Aqualab Decagón modelo 3TE, USA). El color se determinó sobre las caras lisas (CL) y rugosas (CR), utilizando espectrocolorímetro (X-RITE SP64, USA) iluminante D65 y



observador de 10° como referencia; a partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color del CIE-L\*a\*b, donde L\* es un indicador de la luminosidad, a\* (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y b\* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)). La textura (dureza) del producto, se determinó en la CL, a partir de ensayos de punción utilizando el analizador de textura TA.XT2i, (Stable Micro Systems), embolo metálico de 2 mm de diámetro y una velocidad de penetración de 4 mm/s hasta una distancia 5 mm.

**Almacenamiento** Las muestras de hongo fresco fueron almacenadas a una temperatura de 4°C y tiempos de control de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días, utilizando tres tipos de empaque y tres atmósferas modificadas, con un peso aproximado de 150 g /empaque. Se empleó una empacadora al vacío (Komet SD 320, Talsa S.A, Colombia) para realizar el sellado de la película a la bandeja, y un mezclador de gases en acero inoxidable (Pbi Dansensor Map Mix 9000, Dansensor, USA). Las condiciones ambientales para las muestras envasadas a presión atmosférica fueron  $T \cong 20^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR} \cong 65\%$ . Se evaluó la estabilidad de las muestras respecto a los parámetros fisicoquímicos. Las características de las atmósferas 1, 2 y 3 fueron ambiente (presión atmosférica), 100% N<sub>2</sub> y mezcla (10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub>, 80% N<sub>2</sub>) respectivamente. Para los empaques:

*Empaque 1:* Bandeja de espuma de poliestireno (icopor) con dimensiones 12 x 20 x 1,5 cm, recubiertas con película transparente de cloruro de polivinilo (PVC), permeabilidad al vapor de agua: 0 g/m<sup>2</sup>/24h/atm, T=25°C; O<sub>2</sub>: 620 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h/atm, CO<sub>2</sub>: 4263 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h/atm (Alico S.A). Los hongos frescos almacenados en el empaque 1 y atmósfera 1 (envasado comercial) se utilizaron como muestra control.

*Empaque 2:* Bandeja de polietilentereftalato/polietileno de baja densidad (PET/LDPE, permeabilidad despreciable), con dimensiones 13 x 18 x 4,5 cm, recubierta con

laminado de polipropileno biorientado/polietileno de baja densidad (BOPP/LDPE) con 54  $\mu\text{m}$  de espesor, permeabilidad al vapor de agua: 0,3  $\text{g/m}^2/24\text{h/atm}$ ,  $T=25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{O}_2$ : 3400  $\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atm}$ ,  $\text{CO}_2$ : 12000  $\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atm}$  (Alico S.A).

*Empaque 3:* Bandeja de polietilentereftalato/polietileno de baja densidad (PET/LDPE, permeabilidad despreciable), recubierta con laminado polietileno de baja densidad (LDPE) con permeabilidad al vapor de agua: 23,2  $\text{g/m}^2/24\text{h/atm}$ ,  $T=25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{O}_2$ : 4000  $\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atm}$ ,  $\text{CO}_2$  8000  $\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atm}$ , y dimensiones 13 x 18 x 4,5 cm (Alico S.A).

**Caracterización del espacio de cabeza** Se determinó el contenido  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  presentes en el espacio de cabeza de los empaques y atmósferas modificadas durante el tiempo de almacenamiento, utilizando un medidor de gases en acero inoxidable (Pbi Dansensor Map Mix 9000, Dansensor, USA).

**Análisis estadístico** Se utilizó la herramienta estadística STATGRAPHICS plus versión 5.1, a partir de un modelo multifactorial completamente aleatorizado de tres factores de efectos fijos: empaque, atmósfera de envasado y tiempo de almacenamiento. Para cada tipo de atmósfera se realizó un análisis independiente a partir de ANOVAS, utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95%.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

**Evolución de los parámetros fisicoquímicos** Las tablas 1, 2 y 3 presentan los valores medios y las desviaciones estándar de los parámetros fisicoquímicos para las muestras almacenadas en los empaques 1, 2 y 3 respectivamente, envasadas en las atmósferas 1, 2 y 3.

Para todos los empaques, se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) por efecto del tiempo de almacenamiento y la atmósfera de envasado en los parámetros °Brix y pH, mientras que para la  $X_{bh}$  se presentaron diferencias por efecto del tipo de atmósfera de envasado para los empaques 2 y 3.

Los cambios en los °Brix, durante el almacenamiento, están asociados principalmente al desdoblamiento de los carbohidratos presentes (rompimiento de los polisacáridos en monosacáridos) y la deshidratación progresiva del producto por la diferencia de potencial químico entre el producto y la atmósfera; cuyo resultado es el incremento del contenido de azúcares en el producto durante los primeros seis días y posteriormente tiende a establecer el equilibrio al final del almacenamiento. Este comportamiento ocurre para todos los empaques, siendo con una mayor intensidad en el empaque comercial (muestra control), seguido del empaque 2 para la atmósfera 2. Este comportamiento concuerda con estudios previos realizados en *Agrocybe chaxingu* empacados en atmósfera modificada (5% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub>, 85% N<sub>2</sub>) (17).

Para el hongo fresco ( $t = 0$ ) los parámetros de  $a_w$ , humedad, pH y °Brix fueron similares a los reportados en otras investigaciones (25, 26, 27), mientras que la acidez presentó valores superiores ( $4,00 \pm 0,23\%$  frente  $1,95 \pm 0,01\%$ ). En general a pesar de haberse presentado diferencias estadísticas significativas para los parámetros fisicoquímicos, estos cambios se atribuyen a la variabilidad propia del hongo fresco como unidad biológica.

**Tabla 1.** Características fisicoquímicas del hongo fresco en empaque 1.

ATMÓSFERA 1						
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días
X <sub>bh</sub> (%)	90,3 ± 0,9	89,2 ± 1,5	89,3 ± 1,4	90,5 ± 1,1	91,3 ± 0,8	91,8 ± 0,7
a <sub>w</sub>	0,994±0,002	0,993±0,001	0,994±0,001	0,994±0,001	0,994±0,001	0,994±0,001
pH	6,47 ± 0,03	6,44 ± 0,01	6,17 ± 0,02	6,13 ± 0,02	6,43 ± 0,03	6,19 ± 0,05
Acidez (%)	0,20 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01
°Brix	4,3 ± 0,1	4,7 ± 0,1	7,0 ± 0,2	6,4 ± 0,1	5,0 ± 0,1	4,7 ± 0,1
Cloruros(%)	1,8 ± 0,1	2,0 ± 0,1	1,7 ± 0,2	2,1 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,8 ± 0,2

**Tabla 2.** Características fisicoquímicas del hongo fresco en empaque 2.

ATMÓSFERA 1						
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días
X <sub>bh</sub> (%)	94,3 ± 0,5	90,1 ± 1,3	91,6 ± 0,7	94,8 ± 0,6	91,7 ± 0,6	94,6 ± 0,4
a <sub>w</sub>	0,994±0,001	0,996±0,001	0,996±0,001	0,997±0,001	0,997±0,001	0,997±0,001
pH	6,25 ± 0,05	6,17 ± 0,05	6,03 ± 0,12	5,91 ± 0,05	6,22 ± 0,04	6,00 ± 0,08
Acidez (%)	0,15 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,01
°Brix	2,3 ± 0,3	3,0 ± 0,1	5,4 ± 0,1	4,6 ± 0,3	3,3 ± 0,2	2,9 ± 0,1
Cloruros(%)	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,2	2,3 ± 0,3	2,1 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,1 ± 0,2

ATMÓSFERA 2						
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días
X <sub>bh</sub> (%)	94,3 ± 0,5	89,6 ± 1,7	91,9 ± 0,2	94,5 ± 0,6	91,5 ± 0,8	92,3 ± 0,7
a <sub>w</sub>	0,994±0,001	0,996±0,001	0,996±0,001	0,996±0,001	0,997±0,001	0,996±0,001
pH	6,25 ± 0,05	6,08 ± 0,02	5,75 ± 0,07	5,80 ± 0,07	6,15 ± 0,03	5,98 ± 0,08
Acidez (%)	0,15 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,20 ± 0,03
°Brix	3,1 ± 0,1	3,7 ± 0,1	6,0 ± 0,2	5,2 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,6 ± 0,1
Cloruros(%)	2,0 ± 0,2	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,1 ± 0,2	2,1 ± 0,2

ATMÓSFERA 3						
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días
X <sub>bh</sub> (%)	94,3 ± 0,5	89,4 ± 1,7	92,2 ± 0,4	93,9 ± 1,2	92,3 ± 0,6	93,2 ± 0,5
a <sub>w</sub>	0,994±0,001	0,996±0,001	0,996±0,001	0,997±0,001	0,996±0,001	0,997±0,001
pH	6,25 ± 0,05	6,21 ± 0,04	6,30 ± 0,02	6,11 ± 0,02	6,38 ± 0,05	5,96 ± 0,08
Acidez (%)	0,15 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,12 ± 0,01
°Brix	3,1 ± 0,1	3,4 ± 0,1	5,2 ± 0,1	4,1 ± 0,2	3,4 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Cloruros(%)	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,0 ± 0,1

**Tabla 3.** Características fisicoquímicas del hongo fresco en empaque 3

ATMÓSFERA 1						
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días
X <sub>bh</sub> (%)	92,4 ± 0,5	89 ± 1,1	91,2 ± 0,6	92,3 ± 0,9	89 ± 0,7	90,8 ± 0,5
a <sub>w</sub>	0,995 ± 0,001	0,995 ± 0,001	0,995 ± 0,001	0,996 ± 0,001	0,996 ± 0,001	0,996 ± 0,001
pH	6,33 ± 0,06	6,27 ± 0,06	6,36 ± 0,05	6,26 ± 0,07	6,15 ± 0,07	6,44 ± 0,08
Acidez (%)	0,24 ± 0,02	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,25 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,21 ± 0,01
°Brix	3,9 ± 0,3	3,8 ± 0,3	4,7 ± 0,4	4,2 ± 0,3	3,9 ± 0,1	3,8 ± 0,3
Cloruros(%)	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,2	2,3 ± 0,3	2,8 ± 0,2	2,4 ± 0,2	2,6 ± 0,3

ATMÓSFERA 2						
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días
X <sub>bh</sub> (%)	92,4 ± 0,5	89,8 ± 1,1	90,1 ± 0,3	90,7 ± 0,4	90,7 ± 0,5	92 ± 0,7
a <sub>w</sub>	0,995 ± 0,001	0,997 ± 0,001	0,996 ± 0,001	0,996 ± 0,001	0,997 ± 0,001	0,996 ± 0,001
pH	6,33 ± 0,06	6,21 ± 0,07	6,33 ± 0,11	6,11 ± 0,04	6,10 ± 0,04	6,22 ± 0,04
Acidez (%)	0,24 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,18 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,19 ± 0,01
°Brix	3,9 ± 0,3	3,4 ± 0,3	3,8 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,6 ± 0,2	3,3 ± 0,2
Cloruros(%)	2,2 ± 0,1	2,1 ± 0,2	2,1 ± 0,1	2,5 ± 0,2	2,1 ± 0,2	2,1 ± 0,1

ATMÓSFERA 3						
	0 días	3 días	6 días	9 días	12 días	15 días
X <sub>bh</sub> (%)	92,4 ± 0,5	89 ± 0,8	90,6 ± 0,6	93,9 ± 1,2	91,1 ± 1,0	93,0 ± 0,5
a <sub>w</sub>	0,995 ± 0,001	0,997 ± 0,001	0,996 ± 0,001	0,996 ± 0,001	0,996 ± 0,001	0,996 ± 0,001
pH	6,33 ± 0,06	6,53 ± 0,15	6,21 ± 0,07	6,18 ± 0,08	6,16 ± 0,08	6,45 ± 0,06
Acidez (%)	0,24 ± 0,02	0,20 ± 0,00	0,17 ± 0,02	0,23 ± 0,03	0,22 ± 0,01	0,16 ± 0,01
°Brix	3,9 ± 0,3	3,8 ± 0,2	3,0 ± 0,7	3,3 ± 0,3	4,5 ± 0,4	3,1 ± 0,2
Cloruros(%)	2,2 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,1 ± 0,2	2,7 ± 0,2	2,4 ± 0,1	2,0 ± 0,2

**Evolución del Color** Las figuras 1 y 2 presentan los valores medios con los intervalos LSD (95%) de L\*, a\* y b\* en hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) en la muestra control, el empaque 2 y 3 (atmósferas 1, 2 y 3).

Para la muestra control, los factores tiempo y cara fueron significativos (P<0,05) en todos los parámetros, siendo las muestras CR < CL para L\* y las CR > CL para a\*y b\*. Estos resultados son similares a los obtenidos por Cortes *et al.*, 2007 (26) para a\* y b\* en hongos de la misma variedad, sin embargo los valores de L\* son mayores en ambas caras en el presente estudio; estas variaciones se atribuyen a diversos factores como el

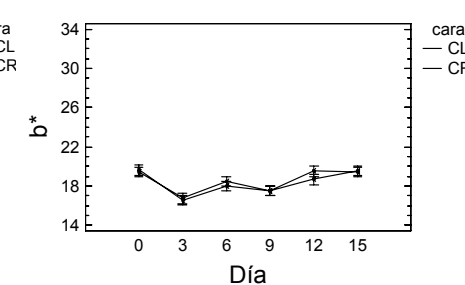
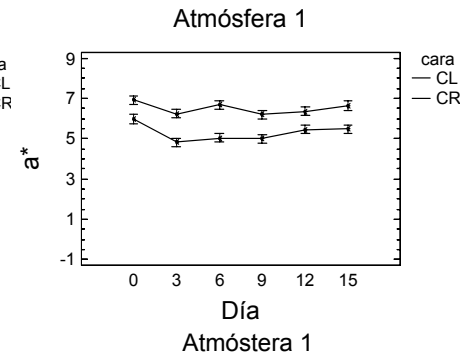
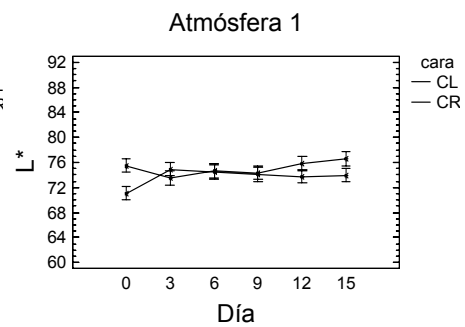
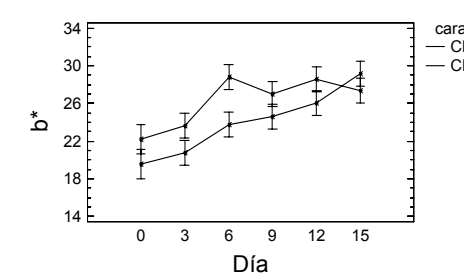
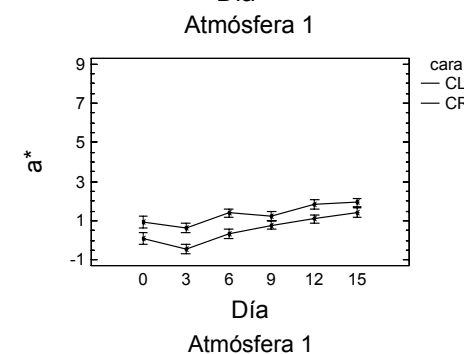
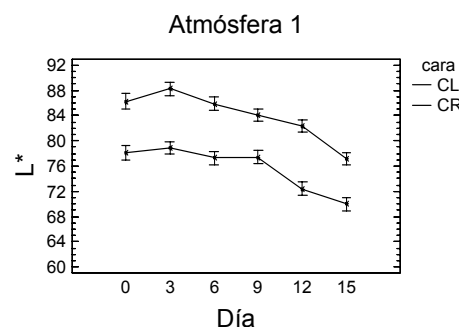
sustrato utilizado durante la siembra, las condiciones de cosecha y la composición final del producto. La evolución de los parámetros de color con el tiempo refleja una cinética similar para ambas caras, presentando principios de pardeamiento al final del almacenamiento, lo cual se identifica principalmente en la CR por la disminución de  $L^*$  a valores inferiores a 70 y el incremento de la cromaticidad  $a^*$  y  $b^*$ , tendiendo las muestras a estar en la escala de grises principalmente.

Para los hongos envasados en empaque 2, los factores tiempo y cara, fueron significativos para los parámetros  $L^*$  y  $a^*$  en todas las atmósferas, mientras que para  $b^*$ , solo tuvo efecto el tiempo. Para  $L^*$ , se observan valores relativamente similares en las 3 atmósferas, dentro de un rango de variación entre 70 - 79, que lo ubica dentro de una luminosidad clara, difícilmente diferenciable entre las caras y el tiempo para el observador.

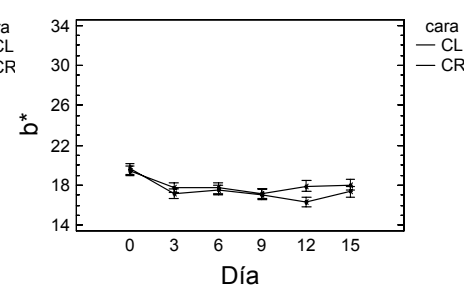
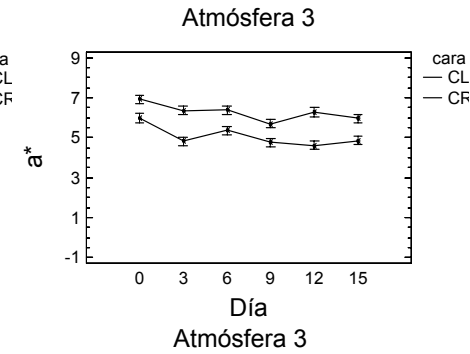
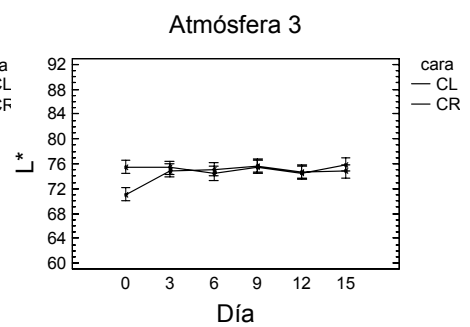
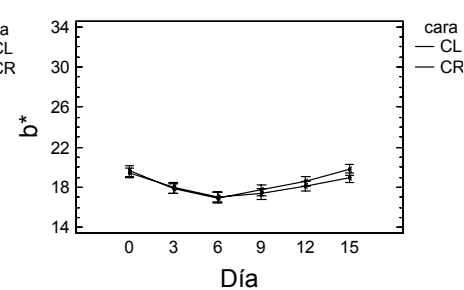
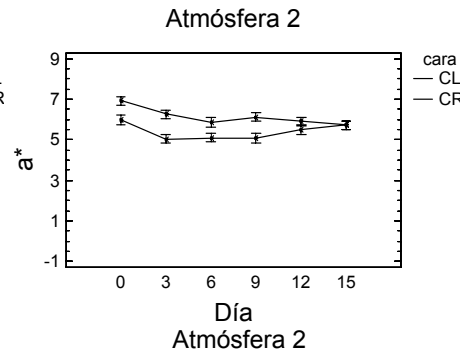
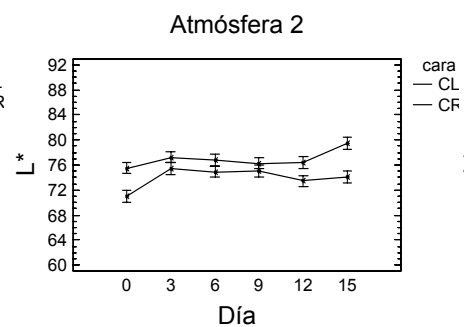
Las diferencias entre las caras del hongo y a través del tiempo de almacenamiento es atribuido más a la variabilidad propia del producto y la irregularidad de la superficie de la CR, que por la interacción de los gases de la atmósfera con el sustrato alimentario. Para  $a^*$  y  $b^*$ , el comportamiento es similar para las atmósferas, en un rango de valores entre 4-7 ( $a^*$ ) y 16-20 ( $b^*$ ). Esta combinación de parámetros, produce un nivel de saturación de color bajo en escala de grises, igualmente estas diferencias mínimas no son apreciables a simple vista.

## Muestra control

### Empaque 1

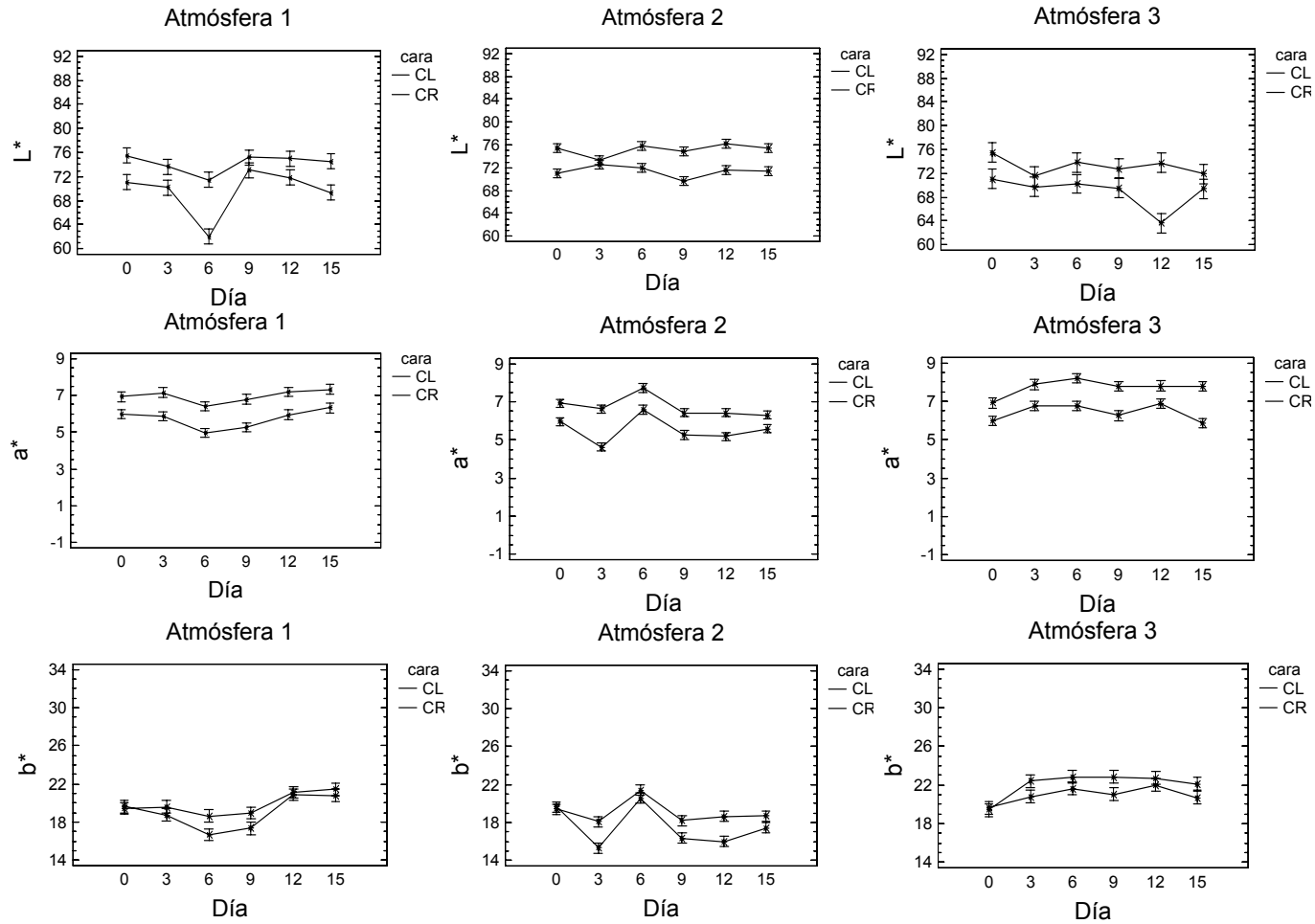


### Empaque 2



**Figura 1.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) para las caras lisa (CL) y rugosa (CR) de hongos frescos empacados en la muestra control y el empaque 2 (atmósferas 1, 2 y 3) durante el tiempo de almacenamiento.

### Empaque 3



**Figura 2.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) para las caras lisa (CL) y rugosa (CR) de hongos frescos empacados en la muestra control y el empaque 3 (atmósferas 1, 2 y 3) durante el tiempo de almacenamiento.



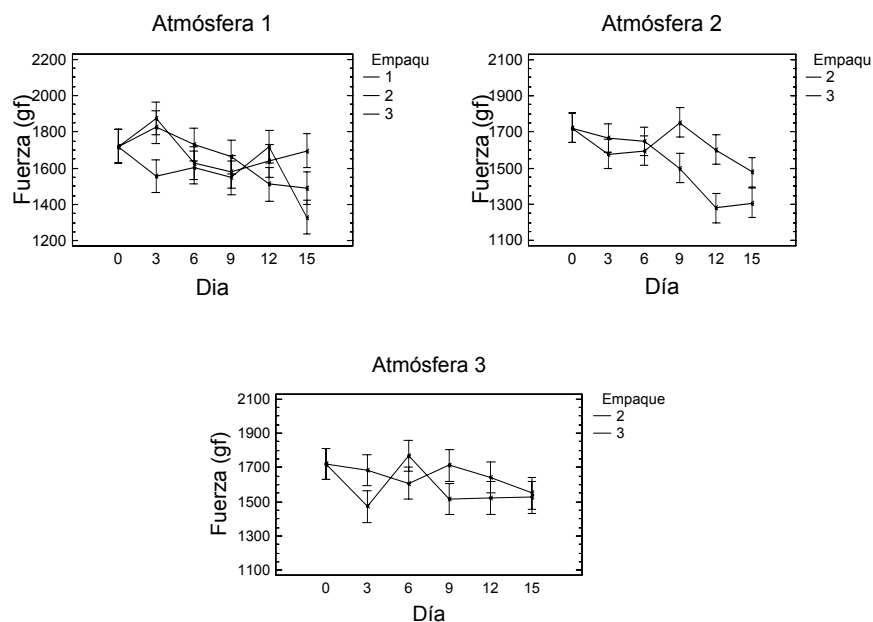
A pesar de los cambios detectados por el análisis estadístico en los parámetros de color, debido a los factores tiempo, atmósfera y cara, los rangos de variación en que se mueven  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , no representan diferencias apreciables para el observador, lo que nos permite concluir que las diferencias de color por el uso del empaque 2 en las 3 atmósferas no son relevantes. Investigaciones realizadas por Villaescusa y Gil (11), reportan que el parámetro  $b^*$  es el más representativo para detectar las diferencias en el color del hongo, lo cual sustenta lo expuesto anteriormente.

Para los hongos envasados en el empaque 3, los factores tiempo, atmósfera y cara fueron significativo ( $P < 0,05$ ) para las variables  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , pero en rangos de variación bajos. Para todas las atmósferas, la tendencia de los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  con el tiempo es similar en ambas caras, siendo las muestras CL más clara y de menor saturación en la escala de los grises que las muestras CR, fenómeno contrario a lo encontrado por Cortes *et al.*, 2007 (26) en hongos de la misma variedad pero en condiciones de producción diferentes, es decir que las diferencias se atribuyen al a las condiciones de simbra y a la composición del producto.

En general, no se presentó pardeamiento enzimático ni diferencias de color apreciables a nivel del observador a través del tiempo en los empaques y atmósferas de estudio, contrario a lo reportado en otras variedades de hongos en atmósferas modificadas (14). Se pueden observar algunas ligeras fluctuaciones más por variaciones propias del producto.

**Evolución de la textura** La figura 3 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima o fuerza de ruptura (Fr) de los hongos envasados en las atmósferas 1, 2 y 3 y empaques 1, 2 y 3 durante el almacenamiento. El ANOVA presentó

diferencias significativas ( $P<0,05$ ) por efecto del factor tiempo y el tipo de empaque en todas las atmósferas.

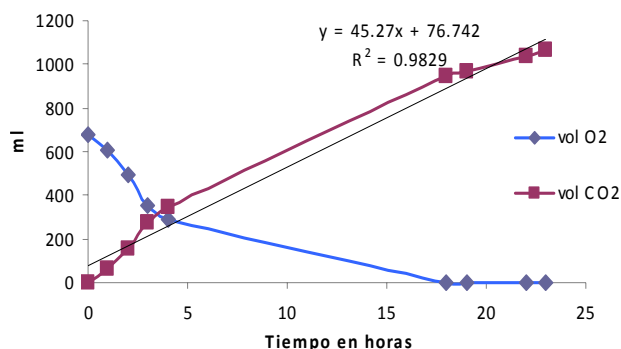


**Figura 3.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) del parámetro de textura Fuerza de penetración, para hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) envasados bajo todos los empaques y atmósferas mencionadas durante el almacenamiento.

Para la atmósfera ambiente, las muestras presentan un comportamiento relativamente similar, manteniéndose en un rango de valores entre 1900 y 1300 gf., correspondiente a un valor medio de ruptura para este tipo de material (26), siendo éstas atribuidas más a daños mecánicos que por efecto del mismo empaque. Para la atmósfera 2, existe una tendencia a disminuir la textura del producto en los empaques 2 y 3, a los 6 y 9 días respectivamente, lo cual puede asociarse a un debilitamiento de estructura celular debido a procesos fermentativos. Villaescusa y Gil (11), también detectaron procesos fermentativos en *Pleurotus ostreatus*, envasado en empaques de PVC y polietileno de baja densidad (LDPE).

En la atmósfera 3, el comportamiento de los empaques 2 y 3 es similar, con coeficientes de variabilidad amplios y diferencias solo al tercer día.

**Cambios en la composición de los gases en el espacio de cabeza** La figura 4 presenta los cambios en la actividad respiratoria del hongo, los valores encontrados en producción de CO<sub>2</sub> se ajustan a los reportados anteriormente (10), confirmando la alta tasa respiratoria del producto.



**Figura 4.** Curva de respiración del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus* L.) a 4°C, durante 24 horas.

La tabla 4 muestra los valores en el % de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para cada combinación de empaque 2 y 3. Para el empaque 2, el comportamiento del O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> en el espacio de cabeza, alcanzó una condición de anaerobiosis ( $\approx 0\%$  O<sub>2</sub>) antes del día 4 en las atmósferas 1 y 3, lo cual ocurre al suprirse las demandas fisiológicas, provocando una alta tasa inicial de respiración, asociada a la tensión poscosecha (fuerza capilar y tasa de realización de procesos biológicos normales) debida al corte del tallo antes del almacenamiento. Resultados similares en hongos de la misma variedad fueron obtenidos por Villascusa y Gil (11). El

descenso de  $O_2$  fue más significativo para la atmósfera 1, debido a que ésta inicia con un 11% de más. La generación de  $CO_2$  alcanzó valores entre el 20 y 30% entre los días 4 y 12. Estas altas concentraciones acumuladas al interior del empaque son atribuidas al mismo fenómeno de respiración, lo cual es similar para la mayoría de los vegetales, por lo que la modificación del espacio de cabeza sucede rápidamente de acuerdo a las propiedades de permeabilidad al gas de la película (10).

**Tabla 4.** Valores de % $O_2$  y  $CO_2$  para empaque 2 y 3, de acuerdo a la atmósfera de almacenamiento.

EMPAQUE 2						
Tiempo	Atmosfera 1		Atmosfera 2		Atmosfera 3	
	$O_2$	$CO_2$	$O_2$	$CO_2$	$O_2$	$CO_2$
0 días	20.9	0	0	0	10	10
4 días	0	21.6	0	12.3	0	21
9 días	0.1	24.7	0	18.9	0	25.5
12 días	0.2	30.9	0	21	0.2	29.7

EMPAQUE 3						
Tiempo	Atmosfera 1		Atmosfera 2		Atmosfera 3	
	$O_2$	$CO_2$	$O_2$	$CO_2$	$O_2$	$CO_2$
0 días	20,9	0	0	0	10	10
4 días	9,6	5,1	0	7,4	4,2	4,7
9 días	0	7,1	0	10,8	0,9	6
12 días	0,1	10,3	0	13,6	10,3	0,5

Para el empaque 3, se alcanzó la condición de anaerobiosis el día 9 en las atmósferas 1 y 3, siendo mayor los niveles de  $O_2$  que el empaque 2, debido a su mayor permeabilidad. Los niveles de  $CO_2$  en la atmósfera 1 se incrementaron hasta un valor del 10%, mientras que en la atmósfera 3, inicia con el 10% del gas de envasado y presenta una reducción hasta valores de 0,5%, atribuido esto a los procesos de pérdida por transpiración y permeabilidad del empaque.

Para los empaques 2 y 3, la atmósfera 2 (atmósfera inerte), presentó como era esperado, niveles de O<sub>2</sub> nulos, con una tasa de producción de CO<sub>2</sub> hasta un 21% y 13,6%, respectivamente, debido a la facultad fermentativa del hongo.

En general, los hongos son aeróbicos, pero también tienen la capacidad de ser microaerobios y en condiciones de almacenamiento con bajos niveles de O<sub>2</sub>, resulta insuficiente para un metabolismo aeróbico; en estas condiciones los tejidos pueden iniciar una respiración anaeróbica, en la que la glucosa se transforma en ácido láctico o acetaldehído y etanol (fermentación). La concentración de O<sub>2</sub> a la que se inicia la fermentación varía con los tejidos y se conoce como punto de extinción, el cual depende de numerosos factores como la especie, el cultivar, el grado de madurez y la temperatura pre y poscosecha (28).

## **CONCLUSIONES**

En general, todas las muestras presentaron diferencias estadísticas significativas en los parámetros fisicoquímicos del hongo fresco por efecto de los factores tiempo de almacenamiento, empaque y tipo de atmósfera; los rangos de variación se consideraron aceptables y enmarcados en las características propias del producto, como ente biológico que continua con sus procesos metabólicos.

Los cambios de color fueron más acentuados en la muestra control, alcanzando un ligero pardeamiento en la CR a los 15 días de almacenamiento. Para los empaques 2 y 3, en las 3 atmósferas de envasado, se presentaron diferencias significativas por efecto de los factores de estudio, sin llegar a ser apreciables por el observador, con uniformidad en el rango estrecho de valores a través del tiempo de almacenamiento.

La textura presentó diferencias significativas por efecto de los factores tiempo y empaque en todas las atmósferas, con una disminución en la resistencia mecánica, debido a los posibles procesos fermentativos, al deterioro por alta tasa metabólica y a los daños mecánicos.

La estructura del hongo, presentó una alta tasa de respiración en las atmósferas 1 y 3, alcanzando su condición de anaerobiosis antes de los días 4 y 9 en los empaques 2 y 3 respectivamente. La generación de CO<sub>2</sub> en el *Pleurotus ostreatus* L., debida a procesos respiratorios alcanzó al final del almacenamiento niveles máximos del orden del 30% en el empaque 2; mientras que para el empaque 3, presentó una reducción desde el 10% hasta 0,5%, esto asociado al balance entre el proceso de transpiración y la permeabilidad de la película. La atmósfera 2, presentó una tasa máxima de producción de CO<sub>2</sub> en el empaque 2, alcanzando niveles del 21%.

En general, los resultados obtenidos permiten identificar que el efecto del empaque y de las atmósferas modificadas no influyen significativamente en las características fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas para el hongo *Pleurotus ostreatus* L., lo que hace que el control sea más práctico por efecto de costos de producción.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, a la Fundación INTAL, a la empresa Bioecológicos S.A., por la colaboración en la ejecución de la investigación. Igualmente, se agradece el apoyo financiero brindado por COLCIENCIAS y la Corporación Incubadora de Empresas de Base Tecnológica del Oriente Antioqueño “GÉNESIS”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Mayela BJ, Alanis MG, González de ME, García CL, Martínez F, Barbosa E. Calidad proteínica de tres cepas mejicanas de setas (*Pleorotus ostreatus*). ALAN 1999; 49 (1): 81-85.
2. Hincapié JG. Fertilización mineral del hongo comestible *Pleorotus ostreatus*. Trabajo de grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias; Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia 1993.
3. Wang D, Sakoda A, Suzuki M. Biological efficiency and nutritional value of *Pleorotus ostreatus* cultivated on spent beer grain Bioresource Technol 2001; 78: 293-300.
4. Manzi P, Aguzi A, Pizzoferrato L. Nutritional value of mushroom widely consumed in Italy. Food Chem 2001; 73: 321-325.
5. Moradali M, Mostafavi H, Ghods S, Hedjaroude A. Immunomodulating and anticancer agents in the realm of macromycetes fungi (macrofungi). Int Immunopharmacol, 2007; 7: 701-724.
6. Cardona LF. Propiedades medicinales de algunos hongos asociados a la madera. Cron For Medio Ambient 2003; 18: 47-64.
7. Manzi P, Pizzoferrato L. Beta glucans in edible mushrooms. Food Chem 2000; 68: 315-318.
8. Acevedo ME, Gómez J, Martínez A, Medina J, Morneo Z, Pizarro J. Grupo Sim: Setas y Hongos, Corporación Colombiana Internacional. Inteligencia de mercados 2004; (21): 1-6.
9. Jacxsens L, Devlieghere F, Van der Steen C, Debevere J. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce. Int J Food Microbiol 2001; 71: 197-210.
10. Kim KM, Kob JA, Leec JS, Parkb HJ, Miford A. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. LWT 2006; 39: 364-371.
11. Villaescusa R, Gil MI. Quality improvement of Pleurotus mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. Postharv Bio Technol 2003; 28: 169-179.
12. Fonseca SC, Oliveira FA, Brecht JK. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. J Food Eng 2002; 52: 99-119.

13. Cliffe-Byrnes V, ÓBeirne D. Effects of washing treatment on microbial and sensory quality of modified atmosphere (MA) packaged fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharv Bio Technol* 2008; 48: 283–294.
14. Tano K, Oulé M, Doyon G, Lencki R, Arul J. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharv Bio Technol* 2007; 46: 212–221.
15. Tao F, Zhang M, Yu H. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *J Food Eng* 2007; 79: 1302–1309.
16. Tao, F., Zhang, M., Yu, H, Jincai, S. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling. *J Food Eng* 2006; 77: 545–549.
17. Li T, Zhang M, Wang S. Effects of modified atmosphere packaging with a silicon gum pellicula as a window for gas exchange on *Agrocybe chaxingu* storage. *Postharv Biol Technol* 2007; 43: 343–350.
18. Ares G, Parentelli C, Gambaro A, Lareo C, Lema P. Sensory shelf-life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharv Biol Technol* 2006; 41: 191–197.
19. Lopez-Briones, G., Varoquaux, P., Chambroy, Y., Bouquant, J., Bureau, G., & Pascat, B. Storage of common mushroom under controlled atmospheres. *Int J Food Sci Tech* 1992; 27: 493–505.
20. Popa, M., Stanescu, M., Ilie, A., Dumitrescu, R., Vraci, I. Some aspects regarding modified atmosphere packaging of mushrooms. In: Hägg, M., Ahvenainen, R., Evers, A.M., Tiilikkala, K. (Eds.), *Agri-Food Quality. II. Quality Management of Fruits and Vegetables*. 1999, vol. 4, pp. 177–181.
21. Henze, J. Storage and transport of *Pleurotus* mushrooms in atmospheres with high CO<sub>2</sub> concentrations. *Acta Hort* 1989; 258: 579–584.
22. ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas 1999, NTC 4623 y NTC 4624. Bogotá D.C
23. ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas 2000, NTC 210. Bogotá D.C
24. AOAC International, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 17th Galthersburg MD, USA. 2000.
25. García, A. Desarrollo de hongos comestibles, *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesados fortificados con calcio, selenio y vitamina C por aplicación de la técnica de



impregnación a vacío. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería. Departamento de Alimentos. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia 2007.

26. Cortés M, García A, Suárez H. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) con calcio, selenio y vitamina C. Vitae 2007; 14 (1): 16-24.

27. Gras M, Vidal-Brotons D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. The response of some vegetables to vacuum impregnation. Innov Food Sci Emerg 2002; 3: 263-269.

28. Salisbury F, Ross C. Fisiología de las plantas. Madrid, Esp. Thomson International 2000; 988 p.

## CAPITULO 2

### HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus* L.) MÍNIMAMENTE PROCESADOS TRATADOS POR IMPREGNACIÓN AL VACÍO CON UNA SOLUCIÓN CONSERVANTE

### MINIMALLY PROCESSED EDIBLE MUSHROOMS (*Pleurotus ostreatus* L.) TREATED BY VACUUM IMPREGNATION WITH CONSERVANTS SOLUTION

Marilza RUÍZ R.<sup>1</sup>, Misael CORTÉS R.<sup>1\*</sup>, Luís E. HENRIQUEZ<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, A.A. 568

\*Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: [mcortesro@unalmed.edu.co](mailto:mcortesro@unalmed.edu.co).

## RESUMEN

En este trabajo se aplica la técnica de impregnación a vacío sobre hongos enteros comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) usando una disolución conservante (DI) a base de ácido ascórbico, ácido cítrico, sal, pectina de bajo metoxilo y calcio, para desarrollar un producto mínimamente procesado. Se valora la respuesta a la impregnación para determinar la composición de la DI y los cambios en las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de la matriz impregnada durante 12 días de almacenamiento a 4°C en dos atmósferas de envasado. La fracción volumétrica de impregnación en hongos pequeños ( $5,5 \pm 1,4$  g) y grandes ( $12,2 \pm 2,2$  g) es de  $39,7 \pm 8,6\%$  y  $31,2 \pm 10,7\%$  respectivamente. Los parámetros fisicoquímicos son afectados por la DI, el tiempo de almacenamiento y la atmósfera de envasado. Los °Brix, % acidez, % cloruros y % humedad disminuyen, el pH aumenta y el  $a_w$  se mantiene con el tiempo. La DI permite controlar el pardeamiento, obteniendo un producto con un color aceptable hasta el día 9. La luminosidad ( $L^*$ ) presenta una tendencia a disminuir con el tiempo (más oscuras), manteniéndose en el plano cromático  $a^*b^*$  en las zonas grises. La textura del producto se considera aceptable con características elásticas y la DI le confiere un sostenimiento a través del tiempo. Para ambas atmósferas, los parámetros microbiológicos están dentro de la norma colombiana. El proceso IV representa una metodología efectiva que mejora los atributos de calidad, sensoriales y microbiológicos del hongo, alcanzando un incremento de la vida útil en un 12,5%.

**Palabras clave:** *Pleurotus ostreatus* L., impregnación a vacío, ácido cítrico, ácido ascórbico.

## ABSTRACT

In this work the technique of vacuum impregnation is applied on edible whole mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.) using a conservant solution (CS) that contain ascorbic acid, citric acid, salt, pectin of low metoxilo and calcium, to develop a minimally processed product. The response to the impregnation is appraised to determine the composition of CS and this way is evaluated the changes in the physiochemical characteristics, microbiological and sensorial of the impregnated matrix stored at 4°C in two atmospheres packing during 12 days. The volumetric fraction of

impregnation in small mushrooms ( $5.5 \pm 1.4$  g) and big ( $12.2 \pm 2.2$  g) it is respectively of  $39.7 \pm 8.6\%$  and  $31.2 \pm 10.7\%$ . The physiochemical parameters are affected for CS, the time of storage and the atmosphere packaging. The °Brix, % acidity, % chlorides and % humidity decrease, the pH rises and the  $a_w$  keeps uniform with the present time. CS allows to control the browning, obtaining a product with an acceptable color until the day 9. The brightness ( $L^*$ ) shows a tendency to decrease with the time (darker), keeping in the chromatic plane  $a^*b^*$  in the gray areas. The texture of the product is considered acceptable with elastic characteristic and CS confers it maintenance through the time. For both atmospheres, the parameters microbiological are inside the Colombian norm. The process IV represents an effective methodology that improves the attributes of quality, sensorial and microbiological of the mushroom, reaching an increment of the shelf life in 12.5%.

**Keywords:** *Pleurotus ostreatus* L., vacuum impregnation, citric acid, ascorbic acid.

## INTRODUCCION

El hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L., es uno de los que mayor crecimiento productivo y de consumo ha sufrido en los últimos diez años (1). Sus propiedades nutricionales y medicinales, han favorecido este crecimiento y a su vez, han aumentado la necesidad de aplicar técnicas de procesamiento y conservación. Posee un alto contenido de humedad (87-93%) y una elevada actividad de agua (0,980-0,997), que favorecen la rápida descomposición después de ser cosechado. Con el fin de conservar y mejorar sus características nutricionales y funcionales como producto mínimamente procesado, se ha planteado la ingeniería de matrices como una herramienta que permite generar en el producto un mayor valor agregado.

Nuevos productos con valor agregado han sido desarrollados durante la última década a partir de la ingeniería de matrices utilizando la técnica de impregnación al vacío (IV), como es el caso de los alimentos mínimamente procesados con características funcionales, en manzana (2-11), fresa (4,12), piña (13), mango (15, 16), cáscaras de frutos cítricos: naranja, mandarina, limón, pomelo (17, 18), papaya, banano, durazno, melón y mamey (15, 16), espinaca (19), orellana (20, 21, 22), berenjena y zanahoria (21, 22, 18), calabacín y champiñón (22), donde se han evidenciado buenos resultados, debido a los beneficios que ofrece el método. Adicionalmente la técnica de IV

ha sido empleada como mecanismo de impregnación de ácidos orgánicos para reducir el pH y agentes antimicrobianos y antioxidantes para inhibir el crecimiento microbiano y la oxidación, en combinación con almacenamiento a bajas temperaturas, lo que puede aumentar significativamente la vida útil del producto (23).

En muchos casos, se adiciona más de un tipo de aditivos dentro de un mismo producto alimenticio, que con frecuencia incluye antioxidantes y conservantes. Los antioxidantes sintéticos son ampliamente usados como aditivos alimenticios para prevenir la rancidez y el pardeamiento, debido a su alta funcionalidad, bajo costo y amplia disponibilidad (24, 25). El ácido ascórbico, es usualmente adicionado a productos alimenticios como acidulante o fortificante, por ejemplo, en ensaladas, jugos y purés de vegetales (26, 27). Además, ha sido usado dentro de soluciones de antipardeamiento en frutas y vegetales con buenos resultados (28, 29). El calcio ha sido frecuentemente utilizado como mejorador de la textura en frutas y vegetales (28, 30). Los ácidos orgánicos (acético, láctico, málico y cítrico) también son constituyentes naturales de muchos alimentos, usados como conservantes y desinfectantes de superficie de vegetales y frutas (31). El objetivo de este estudio fue desarrollar un producto mínimamente procesado, a partir del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L., tratado por impregnación al vacío con una solución conservante a base de ácido ascórbico, ácido cítrico, sal, pectina de bajo metoxilo y calcio.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Materia Prima** Se utilizaron hongos enteros comestibles *Pleurotus ostreatus* L., de orígenes Colombianos (Rionegro-Antioquia), suministrados por la empresa Bioecológicos S.A. Para la disolución de impregnación (DI) se emplearon sal (NaCl), pectina de bajo metoxilo, citrato de

calcio (23 % de calcio y 99% pureza), ácido cítrico (98% pureza), ácido ascórbico (99% pureza) (Bell Chem S.A).

**Caracterización Fisicoquímica** Se determinó la acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico por cada 100 g de producto impregnado según la norma técnica colombiana NTC 4623/99 (32), porcentaje de cloruros NTC 210/00 (33), humedad en base húmeda (Xbh) AOAC 930.15/90 adaptado (34), pH por medida potenciométrica (Hanna pH 211), contenido de sólidos solubles expresados como °Brix según lectura refractométrica a 20 °C NTC 4624/99 (32), actividad de agua ( $a_w$ ), con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón serie 3, modelo 3TE). El color se determinó sobre la superficie del sombrero del hongo (cara lisa: CL) y en el envés del mismo (cara rugosa: CR), a partir de las coordenadas CIE-L\*a\*b\* (L\*: luminosidad, a\*: cromaticidad roja/verde y b\*: amarillo/azul, utilizando el espectrofotómetro X-RITE, SP64, iluminante D<sub>65</sub> y observador de 10°. La textura del producto, se determinó en la CL, a partir de ensayos de punción utilizando el analizador de textura TA.XT2i, (Stable Micro Systems), embolo metálico de 2 mm de diámetro y una velocidad de penetración de 4 mm/s hasta una distancia 5 mm.

**Proceso de Impregnación al vacío (IV)** El proceso IV fue realizado en un sistema diseñado en la Universidad Nacional de Colombia (Centricol Ltda. Medellín, Colombia) el cual consta de una cámara en acero inoxidable, un sistema electromecánico que está acoplado a una balanza de precisión que permite determinar la evolución de la masa del producto y del líquido de impregnación en cada una de las etapas del proceso, una bomba de vacío para generar presiones subatmosféricas, registradas en un vacuómetro.

Los hongos seleccionados y clasificados, fueron pesados inicialmente y sumergidos en el recipiente con el líquido de impregnación. El sistema fue sometido a una presión de vacío de 150.4 mm Hg durante 5 minutos, después se restableció la presión atmosférica y se mantuvieron

sumergidas por 5 minutos más. Para cada muestra impregnada se determinaron los parámetros de impregnación, fracción y deformación volumétrica al final de la etapa de vacío ( $X_1$  y  $\gamma_1$ ) y al final del proceso ( $X$  y  $\gamma$ ) y la porosidad efectiva ( $\varepsilon_e$ ) disponible para el proceso IV, según la metodología descrita por Salvatori *et al.* (35), para lo cual se cuantificaron las masas durante la evolución del proceso de impregnación. La determinación de  $\varepsilon_e$  se realizó a partir de  $X$  y  $r$  (presión atmosférica/presión de vacío) según la ecuación 1 (36).

$$\varepsilon_e = (X - \gamma) / (1 - \frac{1}{r}) \quad (1)$$

**Disolución de impregnación (DI) con solución conservante** La DI se determinó a partir de los valores preliminares de  $X$ , obtenidos con una solución isotónica de NaCl con igual  $a_w$  que el hongo fresco, en muestras de 2 tamaños de hongos diferentes ( $5,5 \pm 1,4$  y  $12,2 \pm 2,2$  g). La concentración de los ácidos ascórbico y cítrico, se determinó bajo el criterio de incorporar 60 mg de ácido ascórbico y 250 mg de ácido cítrico por cada 100 g de producto, a partir de un balance de masa en el sistema hongo – DI (ecuación 2) (37), donde  $Y_i$ ,  $X_i^{IV}$ ,  $x_i^0$  son las fracciones másicas del componente  $i$  en la DI, en la matriz impregnada y en la matriz fresca respectivamente;  $\rho_{apm}$  y  $\rho_{dis}$  son las densidades aparentes de la matriz fresca y de la disolución isotónica respectivamente.

$$Y_i = \frac{X_i^{IV} (1 + X \frac{\rho_{dis}}{\rho_{apm}}) - x_i^0}{X \frac{\rho_{dis}}{\rho_{apm}}} \quad (2)$$

Las composiciones de calcio y pectina de bajo metoxilo, se determinaron mediante pruebas de ensayo a partir del tiempo de gelificación de la solución isotónica adicionada en las relaciones de 20, 25, 30, 35 y 40 mg  $\text{Ca}^{+2}$ / g pectina y con porcentajes de pectina del 0,1 y 0,2%, durante tiempos de control 30, 60, 120 y 1440 min, por observación visual de formación de gel. El

criterio de selección del porcentaje de pectina y la relación  $\text{mg Ca}^{+2}/\text{g pectina}$ , debe satisfacer un tiempo de gelificación mínimo de 60 minutos, para que no desfavorezca el proceso IV.

**Caracterización sensorial** Se realizó acorde a la NTC 5328/04 (38), siendo los descriptores seleccionados el color y olor característico, olor terroso y textura táctil (dureza y humedad). La prueba fue realizada por cinco jueces entrenados pertenecientes al Laboratorio de Análisis Sensorial de la Fundación INTAL, Medellín. Las pruebas fueron realizadas por triplicado.

**Caracterización microbiológica** Se realizó de acuerdo al manual para análisis microbiológicos INVIMA, 1998 (39) según recomendaciones para ensaladas, frutas y verduras crudas, en el Laboratorio de Análisis Microbiológico de la Fundación INTAL.

**Almacenamiento** Se evaluó la evolución de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales para los productos impregnados con la DI conservante, almacenados a una temperatura de 4°C. La determinación de los parámetros se realizó en los días 0, 3, 6, 9 y 12. Se utilizó para el almacenamiento de hongos frescos el empaque comercial (bandeja de espuma de poliestireno con dimensiones 12 x 20 x 1,5 cm, recubiertas con película transparente de cloruro de polivinilo) y para los hongos impregnados una bandeja de polietilentereftalato/polietileno de baja densidad (PET/LDPE, permeabilidad despreciable), con papel absorbente de algodón (12 x 16 cm) y recubierta con laminado de polipropileno biorientado/polietileno de baja densidad (BOPP/LDPE) de 54  $\mu\text{m}$  espesor, con permeabilidad al vapor de agua:  $0,3 \text{ g/m}^2/24\text{h/atm}$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ ;  $\text{O}_2$ :  $3400 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atm}$   $\text{CO}_2$ :  $12000 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atm}$  y dimensiones 13 x 18 x 4,5 cm (Alico S.A). Las atmósferas de envasado fueron: ambiente (atmósfera 1) y una mezcla de gases (10%  $\text{O}_2$ , 10%  $\text{CO}_2$  y 80%  $\text{N}_2$ ) (atmósfera 2).

**Análisis de datos** Los resultados fueron analizados a partir de ANOVA, en un modelo multifactorial completamente aleatorizado de tres factores de efectos fijos: empaque, atmósfera de envasado y tiempo de almacenamiento, utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0,05$ ). El análisis de varianza fue realizado con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5,1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización del hongo fresco** La tabla 1 presenta los valores promedios y desviaciones estándar de los parámetros fisicoquímicos de muestras de hongos frescos envasado en el empaque comercial durante 12 días de almacenamiento a 4°C.

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos del hongo fresco envasado en el empaque comercial y almacenado durante 12 días.

Parámetro	Almacenamiento (días)				
	0	3	6	9	12
X <sub>bh</sub> (%)	90,3±0,9	89,2±1,5	89,3±1,4	90,5±1,1	91,3±0,8
a <sub>w</sub>	0,994±0,002	0,993±0,001	0,994±0,001	0,994±0,001	0,994±0,001
pH	6,47±0,03	6,44±0,01	6,17±0,02	6,13±0,02	6,43±0,03
Acidez (%)	0,20±0,01	0,21±0,01	0,19±0,01	0,20±0,01	0,20±0,01
°Brix	4,3±0,1	4,7±0,1	7,0±0,2	6,4±0,1	5,0±0,1
Cloruros (%)	1,8±0,1	2,0±0,1	1,7±0,2	2,1±0,1	1,9±0,1

El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) para los °Brix debidas al factor tiempo. Para la a<sub>w</sub>, se presentan coeficientes de variabilidad muy pequeños que están dentro del rango de precisión del equipo ( $\pm 0,003$ ). Los cambios de X<sub>bh</sub> no fueron significativos, asociado a la permeabilidad del empaque que genera una humedad de equilibrio, lo cual es correspondiente con el sostenimiento de la a<sub>w</sub> del producto. Se observa un incremento de los



°Brix hasta el día 6 y luego disminuyen, lo cual es atribuible a los procesos metabólicos del producto, que incluyen una degradación de las macromoleculas de carbohidratos con rompimineto de los polisacáridos en monosacáridos y por ende un aumento en los solidos solubles totales. Estos procesos metabolicos se favorecen a las condiciones encontradas de acidez (0,18-0,22) y pH (6,1–6,5), sumado a valores altos de humedad (87,7–92,4). Los resultados obtenidos son similares para la  $a_w$ , pH,  $X_{bh}$  y °Brix con otros autores, mientras que para la acidez y los cloruros son inferiores. (22, 37, 40). Estas diferencias pueden ser atribuidas a los sustratos de producción utilizados.

**Formulación de la DI conservante** El diseño de la formulación de la DI conservante, requiere del conocimiento de los parámetros de impregnación, principalmente del valor de X (cc emulsión/cc hongo) y  $\epsilon_e$  (cc gas/cc hongo) para el proceso IV, de acuerdo a la ecuación 1. La tabla 2, presenta los resultados de la respuesta a la IV, con la solución isotónica de NaCl al 1,6% (solución con igual  $a_w$  al hongo fresco 0,994).

**Tabla 2.** Respuesta a la IV del hongo con solución isotónica de NaCl (1,6% p/p)

Tamaño (g)	X	$X_1$	$\gamma_1$	$\gamma$	$\epsilon_e$
$5,5 \pm 1,4$	$39,7 \pm 8,6$	$-20,8 \pm 12,3$	$-18,6 \pm 10,7$	$-86,1 \pm 15,5$	$132,2 \pm 19,3$
$12,2 \pm 2,2$	$31,2 \pm 10,7$	$-14,9 \pm 17,5$	$-13,8 \pm 8,9$	$-50,4 \pm 12,6$	$85,6 \pm 19,5$

Los resultados negativos de  $X_1$ ,  $\gamma_1$  y  $\gamma$  denotan la salida de líquido nativo del interior del hongo y una deformación volumétrica de la muestra en ambas etapas. El valor de  $\epsilon_e$  por encima del 100%, se atribuye a la cantidad de DI que queda adherida en la CR, la cual durante el almacenamiento, podría generar la migración de la DI hacia el interior del empaque. La respuesta a la IV obtenida en el hongo, identifica esta estructura como muy favorable a la incorporación de componentes a través de la DI; sin embargo, presenta altos coeficientes de variabilidad según su tamaño. Estos

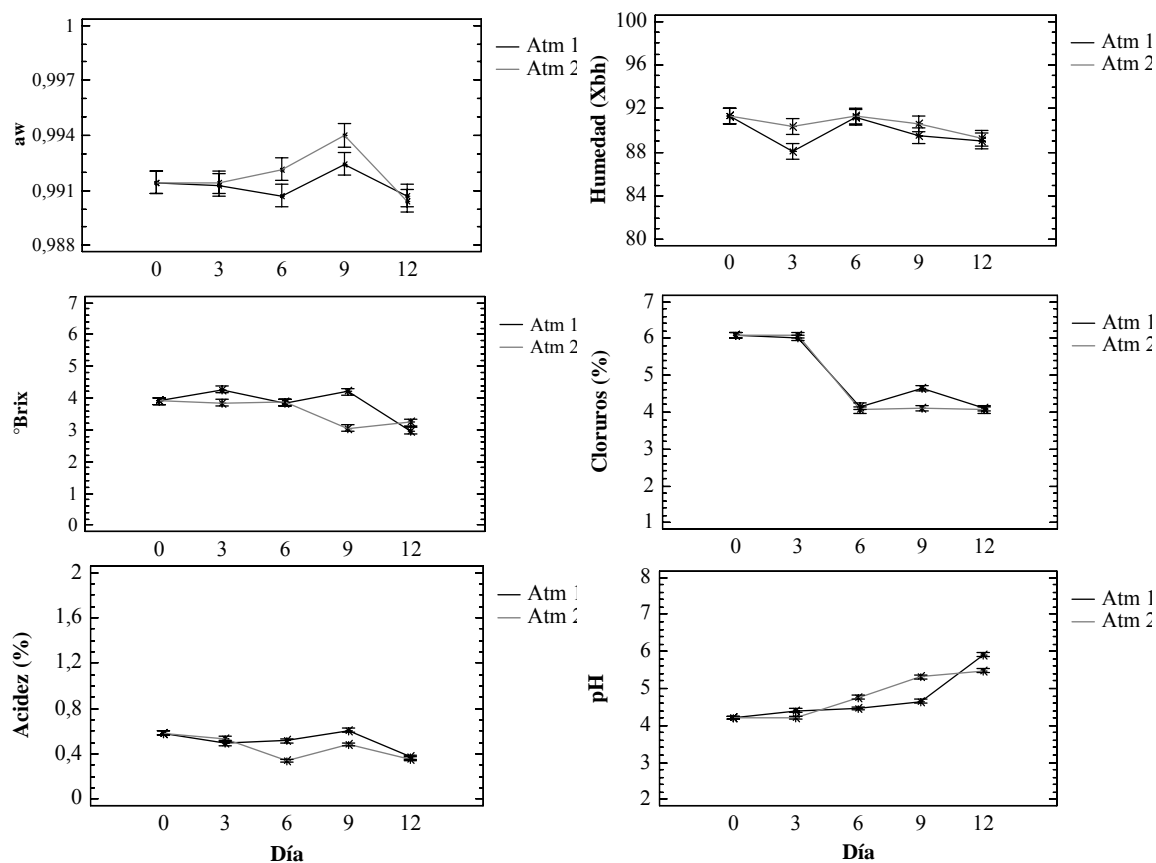
resultados concuerdan con los reportados por Grass *et al.* (22), donde se presentó igualmente la salida de líquido nativo y se considera una estructura apropiada para la fortificación, debido a su alto valor de X (41%). Por otro lado, se ha encontrado en otras investigaciones de hongos fortificados con calcio, selenio y vitamina C, valores de X del orden del 11% (20).

Estos resultados justifican la incorporación de los componentes gelificantes utilizados (pectina de bajo metoxilo y calcio) para inducir a una gelificación lenta y como segunda medida un secado superficial a 4°C después de impregnado. Los resultados subjetivos (no instrumentales) obtenidos de los ensayos de gelificación, permitió seleccionar una relación de 30 mg de calcio/g de pectina y 0,1% de pectina, alcanzando un tiempo de gelificación > 60 minutos, tiempo suficiente para la realización del proceso IV. La composición final de la DI (basada en el desarrollo de la ecuación 2) expresado en % p/p fue: NaCl (1,600), ácido ascórbico (0,130), ácido cítrico (0,540), pectina de bajo metoxilo (0,100), citrato de calcio (0,013).

**Caracterización del hongo impregnado** Los cambios en los parámetros fisicoquímicos de los productos frescos ( $t=0$ ) por efecto de los componentes de la DI fueron coherentes, se observó un incremento de la acidez desde 0,2% hasta 0,59%, con la correspondiente reducción del pH desde 6,5 hasta 4,2; un incremento de los cloruros desde 1,8% hasta 6,2%, mientras que la humedad y la  $a_w$  no varían apreciablemente. Es importante tener en cuenta que estos cambios se ven afectados por el balance de ingreso y egreso de fluidos durante la IV, la cual reflejo una salida de líquido nativo en la etapa de vacío desde su interior.

La figura 1 presenta los valores medios con los intervalos LSD (95%) de los parámetros fisicoquímicos en hongos impregnados durante el almacenamiento a 12 días y 4°C. El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas en todos los parámetros fisicoquímicos ( $P < 0,05$ ), debido a los factores tiempo de almacenamiento y atmosfera de envasado. Los cambios de  $a_w$ , no fueron apreciables similar a lo ocurrido en el producto fresco. La  $X_{bh}$  tiende a disminuir con el

tiempo posiblemente por deshidratación del hongo durante la refrigeración, debido a diferencias en el potencial químico del agua ( $\Delta\mu_{\text{agua}}$ ) entre el ambiente interno y el producto; la influencia del tipo de envasado en la  $X_{\text{bh}}$  solo se observó en el 3<sup>er</sup> día de control, lo cual no es concluyente debido a la tendencia observada durante todo el almacenamiento.



**Figura 1.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de °Brix,  $a_w$ , acidez, cloruros, humedad y pH en hongos impregnados con la DI en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado (atmósfera 1: línea continua y atmósfera 2: línea discontinua).

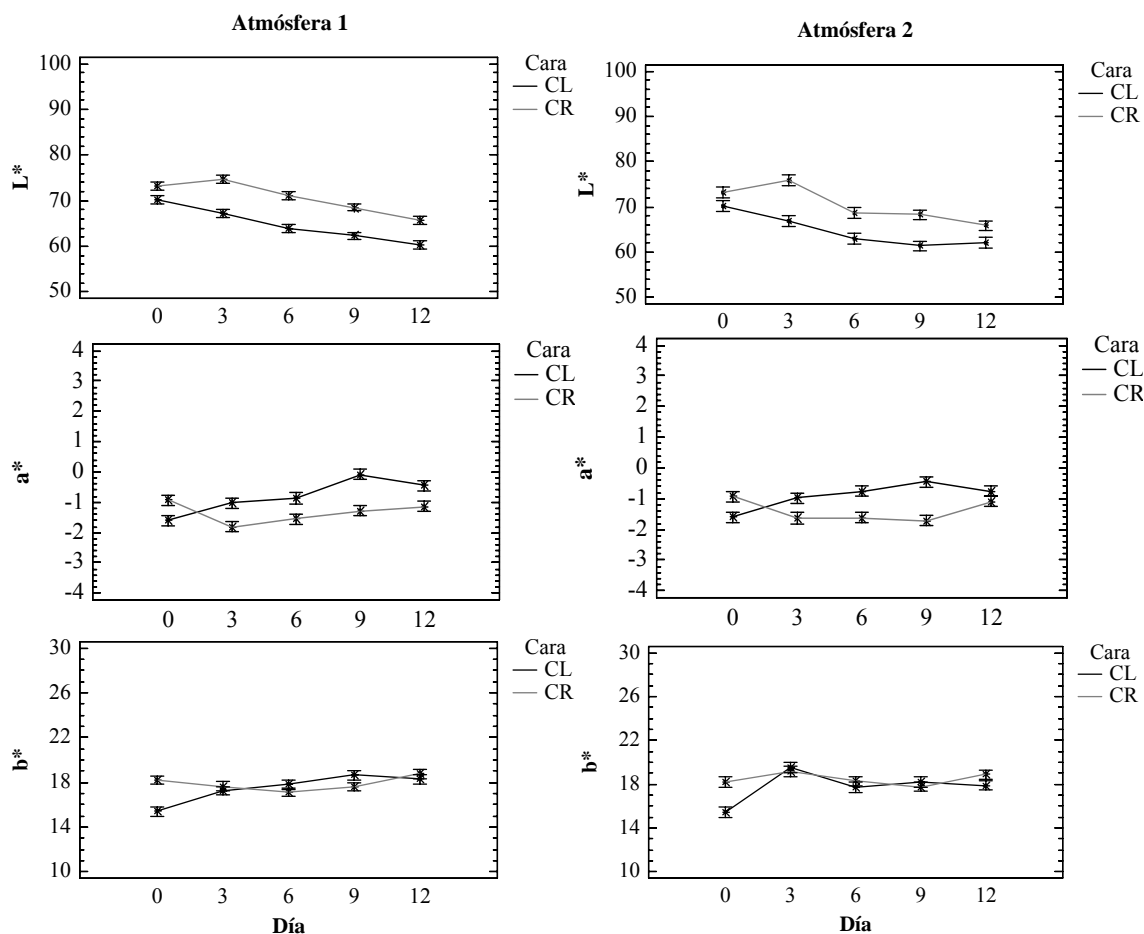
En cuanto a los °Brix, la acidez y los cloruros, tienden a disminuir con el tiempo, posiblemente debido a la salida de DI desde el interior durante el relajamiento estructural que sufre el producto en el almacenamiento y además existen procesos naturales de degradación de carbohidratos y procesos metabólicos de respiración en el producto. A todo lo anterior, se debe sumar el efecto de

la alta variabilidad de esta matriz al proceso IV, lo cual influye en los cambios observados de los parámetros fisicoquímicos. En general no se consideró muy influyente la atmósfera 2 en las propiedades fisicoquímicas del producto impregnado.

Los valores obtenidos de propiedades fisicoquímicas en cuanto a  $a_w$ , Xbh son similares a los reportados en hongos fortificados con calcio, selenio y vitamina C, mientras que la acidez y el pH son inferiores y los °Brix y cloruros son superiores (20, 40); estas diferencias se asumen debido a la composición de cada DI utilizada.

**Evolución del color durante el almacenamiento** Los cambios en los parámetros de color de los productos frescos ( $t=0$ ) son muy significativos por efecto de la DI en el proceso IV, que hace que las muestras sean más oscuras ( $<L^*$ ) en ambas caras, y con una disminución de  $a^*$  y  $b^*$ , pero siendo estos cambios poco relevantes en el plano cromático  $a^*b^*$  (zona gris). Estos resultados en  $L^*$ , son correspondientes con el fenómeno físico de reflejar la onda lumínica y además del cambio en la densidad del producto por la IV, sobre todo en muestras muy porosa (23). Estudios realizados en diferentes estructuras vegetales, como la manzana, la fresa y la papaya demuestran que una de las propiedades fisicoquímicas más afectados por el IV es el color (18).

La figura 2 presenta los valores medios con los intervalos LSD (95%) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en hongos impregnados durante el almacenamiento a 4°C, en las atmósferas 1 y 2. El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) en todos los parámetros con respecto a los factores tiempo de almacenamiento y el tipo de cara.

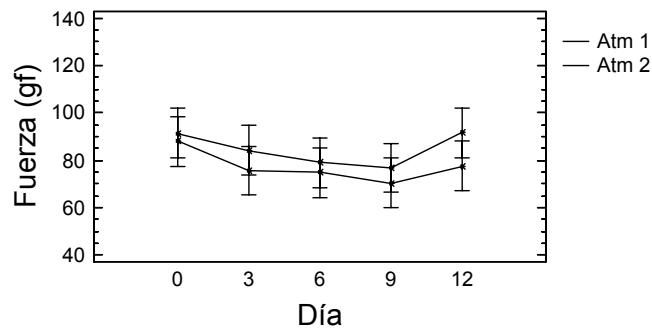


**Figura 2.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en la CL (línea continua) y CR (línea discontinua) de hongos impregnados con la DI en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.

No existe diferencias significativas en  $L^*$  por efecto de la atmósfera, siendo su comportamiento muy similar en ambas caras y con tendencia a un ligero oscurecimiento durante el almacenamiento. Esto debido principalmente a las reacciones de pardeamiento enzimático natural por la polifenol oxidasa presente, aún bajo la acción del ácido ascórbico (40). En todos los casos la CL fue más oscura que la CR ( $L^*_{CL} < L^*_{CR}$ ), relacionado con la presencia del aire en los intersticios de la superficie irregular de la CR que hace menos homogéneo del índice de refracción del tejido y disminuye el grado de absorción de la luz en ésta zona, observándose la CR más clara que la CL. Los comportamientos de  $a^*$  y  $b^*$  fueron similares en todos los casos, que los ubica en el plano

cromático  $a^*b^*$  en la zona de escala de grises sin cambios apreciables durante el almacenamiento y tipo de envasado.

**Comportamiento textural del producto** La figura 3 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación (gf) en hongos comestibles impregnados con la DI en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.



**Figura 3.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación (gf) en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con una solución conservante en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.

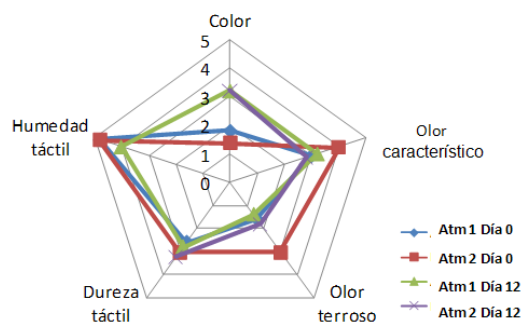
Los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas por efecto del tiempo de almacenamiento y la atmósfera de envasado ( $P > 0,05$ ), se observa unos coeficientes de variabilidad altos, por la complejidad estructural del hongo en ambas caras. La interacción del  $Ca^{+2}$  y la pectina de bajo metoxilo incorporado en los espacios intercelulares ayudaron en la permanencia de los valores iniciales, aumentando al final del tiempo de almacenamiento debido a las características de la pectina. No se observó una influencia por efectos de los procesos respiratorios normales que tiene el producto durante el almacenamiento y sería conveniente la realización de un secado superficial posterior a la IV, para ayudar a eliminar el líquido adherido a la superficie y contribuir a darle una mayor dureza.

**Análisis microbiológico** Los resultados de los parámetros microbiológicos durante los controles de 0 a 12 días permitieron identificar para el producto envasado en la atmósfera 1, un incremento en el recuento de mohos de 130 → 340 UFC/g, de levaduras de 1000 → 3200 UFC/g y una disminución de los aerobios mesófilos de 3500 → 2500 UFC/g. Esta situación estaría asociada a las condiciones fisicoquímicas de pH, acidez y de  $a_w$  del producto y a la disminución de las reservas de oxígeno en el empaque.

Para las muestras envasadas en la atmósfera 2, se presenta una disminución en el recuento de mohos de 260 → 150 UFC/g, de levaduras de 1600 → 100 UFC/g y de aerobios mesófilos de 5000 → 1000 UFC/g. Estos resultados identifican el efecto antibacteriano que le confiere la atmósfera de envasado, principalmente por los niveles de CO<sub>2</sub>, lo cual potencia el mayor efecto de inhibición al crecimiento por el mayor nivel de N<sub>2</sub> y el bajo contenido de O<sub>2</sub>. Para ambas atmósferas los controles de coliformes totales, fecales, salmonella estuvieron dentro de los parámetros permitidos por la normatividad. En general, los recuentos de mohos, levaduras y aerobios mesófilos, sin llegar a ser obligatorios para las ensaladas crudas en la norma colombiana, denotan una mejor calidad microbiológica en los hongos envasados en la atmósfera 2.

**Evaluación sensorial** La figura 4 presenta los valores medios de las calificaciones de los atributos sensoriales en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la DI. Una valoración preliminar a la respuesta de los panelistas, se realizó con las muestras recién impregnadas (día 0), utilizando 2 lotes independientes con 3 repeticiones/lote (atm 1 día 0 y atm 2 día 0), encontrándose un nivel de reproducibilidad aceptable, con una ligera desviación en los descriptores de olor, atribuido principalmente por la variabilidad que presenta la respuesta a la impregnación (X), que hace que haya una mayor o menor percepción del olor natural del hongo.

El panel sensorial, no detectó diferencias significativas por efecto del tipo de envasado y el cambio más crítico con respecto al tiempo de almacenamiento se encontró en el color, con un aumento de la intensidad aproximadamente del 20%. Esta situación es coherente con los resultados obtenidos mediante las pruebas instrumentales, en cuanto a la disminución del parámetro  $L^*$  ( $72 \rightarrow 62$ ) que representa un cambio del 14%, correspondiente a un oscurecimiento observado en el día 12 de almacenamiento. La valoración subjetiva confirma, la susceptibilidad del hongo al pardeamiento enzimático y permitió fijar el color aceptable hasta el día 9, independiente de la atmósfera de envasado.



**Figura 4.** Valores medios de las calificaciones de los atributos sensoriales en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con DI en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso IV se presenta como una metodología efectiva de incorporación de componentes conservantes en la estructura del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L., que mejoran atributos de calidad, sensoriales y microbiológicos.

La respuesta a la IV identifica al hongo como una estructura compleja por la variabilidad microestructural de sus caras, que la hace dependiente del tamaño de la muestras y del grado de retención de DI en la CR. Los niveles de impregnación obtenidos de X (cc DI/cc hongo) en



hongos pequeños ( $5,5 \pm 1,4$  g) y grandes ( $12,2 \pm 2,2$  g) fueron de  $39,7 \pm 8,6\%$  y  $31,2 \pm 10,7\%$  respectivamente. El grado de retención se aumenta cuando la DI contiene componentes que gelifiquen lentamente.

Los parámetros fisicoquímicos se ven afectados por la DI, por el tiempo de almacenamiento y por la atmósfera de envasado. La tendencia fue a disminuir los °Brix, % acidez, % cloruros y % humedad y aumentar el pH. La  $a_w$  no presentó variación.

La influencia la DI permitió controlar el pardeamiento enzimático y no enzimático, obteniendo un producto con un color aceptable hasta el día 12. La luminosidad ( $L^*$ ) presentó una tendencia a disminuir con el tiempo (menos claras) y las cromaticidades  $a^*$  y  $b^*$  (plano  $a^*b^*$ ) se sostienen en las tonalidades grises.

La textura del producto se considero aceptable con característica elástica y la DI le confirió un sostenimiento de esta con el tiempo de almacenamiento.

De acuerdo a las valoraciones objetivas y subjetivas de los atributos de calidad, se fijó un tiempo de vida útil en 9 días en ambas atmósferas, lo que permite concluir que el tratamiento aplicado de la DI aumenta el tiempo en anaquel en un 12,5%, con respecto a lo establecido en hongos frescos *Pleurotus ostreatus* L. (8 días a 4°C en empaque comercial). Por efectos de costo, se hace más viable el envasado en atmósfera ambiente.

Se recomienda antes de envasar el producto impregnado, un secado superficial a 4°C, durante 3 horas aproximadamente, para minimizar la salida de líquido nativo del interior de la estructura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Manzi P, Aguzi A, Pizzoferrato L. Nutritional value of mushroom widely consumed in Italy. *Food Chem* 2001; 73: 321-325.
2. Atarés L, Chiralt A, González-Martínez C. Effect of the impregnated solute on air drying and rehydration of apple slices (ct. *Granny smith*). *J Food Eng* 2009; 91: 305–310.
3. Atarés L, Chiralt A, González-Martínez C. Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinders (ct. *Granny Smith*). *J Food Eng* 2008; 89 (1): 49–56.
4. Contreras C, Martín-Esparza ME, Chiralt A, Martínez-Navarrete N. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *J Food Eng* 2008; 88: 55–64.
5. Gonzalez-Fesler M, Salvatori D, Gomez P, Alzamora SM. Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. *J Food Eng* 2008; 87: 323–332.
6. Guillemín A, Degraeve P, Noel C, Saurel R. Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. *Granny smith*). *J Food Eng* 2008; 86: 475–483.
7. Barrera C, Betoret N, Heredia A, Fito P. Application of SAFES (systematic approach to food engineering systems) methodology to apple candying. *J Food Eng* 2007; 83: 193–200.
8. Anino S, Salvatori M, Alzamora S. Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Res Int* 2006; 39: 154–164.
9. Martín-Esparza ME, Martínez-Navarrete N, Chiralt A, Fito P. Dielectric behavior of apple (var. *Granny smith*) at different moisture contents: Effect of vacuum impregnation. *J Food Eng* 2006; 77: 51–56.
10. Betoret N, Puentes L, Díaz MJ, Pagán MJ, García MJ, Grass ML *et al.* Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *J Food Eng* 2003; 56: 273-277.
11. Martínez-Monzó J, Barat JM, González-Martínez C, Chiralt A, Fito P. Changes in thermal properties of apple due to vacuum impregnation. *J Food Eng* 2000; 43(4): 213-218.
12. Castello ML, Fito PJ, Chiralt A. Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. *LWT* 2006; 39: 1171–1179.
13. Lombard GE, Oliveira JC, Fito P, Andrés A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *J Food Eng* 2008; 85: 277–284.

14. Giraldo G, Vázquez R, Martín-Esparza ME, Charal A. Rehydration kinetics and soluble solids lixiviation of candied mango fruit as affected by sucrose concentration. *J Food Eng* 2006; 77: 825–834.
15. Mujica-Paz H, Valdez-Fragoso A, López-Malo A, Palou E, Welti- Chanes J. Impregnation properties at vacuum pressure. *J Food Eng* 2003a; 56: 307–314.
16. Mujica-Paz H, Valdez-Fragoso A, López-Malo A, Palou E, Welti- Chanes J. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *J Food Eng* 2003b; 57: 305–314.
17. Cháfer M, Martínez-González C, Chiralt A, Fito P. Microstructure and vacuum impregnation response of citrus peels. *Food Research International* 2003; 36: 35-41.
18. Fito P, Chiralt A, Betoret N, Grass M, Cháfer M, Martinez-Monzo J, *et al.* Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. *J Food Eng* 2001; 49: 175-183.
19. Phoon P, Gómez F, Vicente A, Dejmek P. Pulsed electric field in combination with vacuum impregnation with trehalose improves the freezing tolerance of spinach leaves. *J Food Eng* 2008; 88: 144–148.
20. Cortés M, García A, Suárez H. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) con calcio, selenio y vitamina C. *Vitae* 2007; 14 (1): 16-24.
21. Grass M, Vidal-Brotons D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. Calcium Fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *J Food Eng* 2003; 56: 279-284.
22. Grass M, Vidal-Brotons D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. The response of some vegetables to vacuum impregnation. *Innov Food Sci Emerg* 2002; 3: 263-269.
23. Zhao Y, Xie J. Firmness of fresh cut apples (*Royal gala*) subjected to VI treatment under different conditions (HFCS, high fructose corn syrup; GC, Gluconalw Cal; ZL, zinc lactate). *Food Sci Technol* 2004; 15: 434–451.
24. Xiu-Qin L, Chao J, Yan-Yan S, Min-Li Y, Xiao-Gang C. Analysis of synthetic antioxidants and preservatives in edible vegetable oil by HPLC/TOF-MS. *Food Chem* 2009; 113: 692–700.
25. Tian F, Li B, Ji B, Yang J, Zhang G, Chen Y, Luo Y. Antioxidant and antimicrobial activities of consecutive extracts from *Galla chinensis*: The polarity affects the bioactivities. *Food Chem* 2009; 113: 173–179.
26. Choi MH, Kim GH, Lee HS. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Res Int* 2002; 35: 753–759.

27. Kebede E, Mannheim C, Miltz J. Ascorbic acid retention in a model food packed in barrier plastic trays and in cans. LWT 1998; 31: 33–37.
28. Bai J, Wu P, Manthey J, Goodner K, Baldwin E. Effect of harvest maturity on quality of fresh-cut pear salad. Postharv Bio Technol 2009; 51: 250–256.
29. Gliemmo MF, Latorre ME, Gerschenson LN, Campos CA. Color stability of pumpkin (*Cucurbita moschata*, *Duchesne ex Poiret*) puree during storage at room temperature: Effect of pH, potassium sorbate, ascorbic acid and packaging material. LWT 2009; 42: 196–201.
30. Sham PY, Scaman TD, Durance TD. Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. J Food Sci 2001; 66 (9): 1341–1347.
31. Samelis J, Sofos JN. Organic acids. In: Roller, S. (Ed.), Natural antimicrobials for the minimal processing of foods. Woodhead publishing limited, Cambridge, 98–120; 2003.
32. ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas (Colombia), NTC 4623 y NTC 4624. Bogotá D.C; 1999.
33. ICONTEC Normas Técnicas Colombianas (Colombia), NTC 210. Bogotá D.C; 2000.
34. AOAC International, Official Methods of Analysis of AOAC International, 15th Virginia, USA; 1990.
35. Salvatori D, Andrés A, Chiralt A, Fito P. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. J Food Eng 1998; 21: 59–73.
36. Martínez-Monzó, J. Cambios físico-químicos en manzanas Granny Smith asociados a la impregnación a vacío. Aplicaciones en congelación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España; 1998.
37. Cortés M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España; 2004.
38. ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas (Colombia), NTC 5328. Bogotá D.C; 2004.
39. INVIMA, Instituto de Vigilancia y Control de Alimentos y Medicamentos, Colombia. Manual de análisis microbiológicos, trazable a las normas de la AOAC Official Methods: 988.18, 966.24, 967.27, 17.2.02 Ed. 17; 972.45 y 975.55 Ed. 45. 1998.
40. García, A. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) con calcio, selenio y vitamina C. Tesis de grado Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá; 2007.

## CAPITULO 3

### LA INGENIERÍA DE MATRICES COMO HERRAMIENTA EN EL DESARROLLO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) MÍNIMAMENTE PROCESADOS, FORTIFICADOS CON VITAMINAS C, E Y MINERALES CALCIO Y ZINC

MATRIX ENGINEERING FOR DEVELOPMENT OF MINIMALLY PROCESSED EDIBLE MUSHROOMS (*Pleurotus ostreatus* L.), FORTIFIED WITH VITAMINS C, E AND MINERALS CALCIUM AND ZINC

**Marilza Ruíz Ruiz, Misael Cortés Rodríguez\*, Luís Eduardo Henríquez**

Grupo de Alimentos Funcionales (GAF), Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Calle 59ª No. 63 – 20.

\*Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: [mcortesro@unalmed.edu.co](mailto:mcortesro@unalmed.edu.co).

#### Resumen

El presente trabajo desarrolla un producto con características funcionales a partir del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L. Se utiliza la ingeniería de matrices para incorporar una emulsión de impregnación fortificante (EIF) con vitaminas C, E y minerales Ca y Zn en la estructura del hongo, utilizando un empaque PET/LDPE y dos atmósferas de envasado (ambiente y 10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> y 80% N<sub>2</sub>). La respuesta a la impregnación al vacío (IV) es afectada por diversos factores, debido a la complejidad microestructural del hongo e influye en las propiedades fisicoquímicas del producto, alcanzando niveles en 100 g de hongo de 43,0±2,3 mg Vit.C, 30,9±6,9 mg Vit.E, 4,2±0,1 mg Zn y 5,35±0,40 mg Ca. La EIF contribuye a obtener una textura aceptable y un control sobre el pardeamiento. Las valoraciones objetivas y subjetivas, permiten definir un tiempo de vida útil en el producto de 12 días. La ingeniería de matrices a través de la técnica IV se presenta como una metodología efectiva que incorpora minerales y antioxidantes en el hongo *Pleurotus ostreatus* L.

*Palabras claves:* *Pleurotus ostreatus* L., ingeniería de matrices, impregnación a vacío, vitamina E, vitamina C, calcio, zinc.

#### Abstract

This work develops a product with characteristic functional from edible mushroom *Pleurotus ostreatus* L. The matrix engineering is used to incorporate an fortified impregnation emulsion (EIF) with vitamins C and E, Zn and Ca in the structure of the mushroom, using PET/LDPE pack and two atmospheres of packing (atmospheric gases and 10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> y 80% N<sub>2</sub>). The response to vacuum impregnation (IV) is affected by diverse factors, due to microestructural complexity of the mushroom and influences in the physiochemical properties of product, reaching levels in 100 g of mushroom of 43,0±2,3 mg Vit.C, 30,9±6,9 mg Vit.E, 4,2±0,1 mg Zn and 5,35±0,40 mg Ca. The EIF contributes to obtain an acceptable texture and a control on browning. The objective and subjective evaluations, allow defining a shelf life in the product of

12 days. The matrix engineering through the technique IV is presented like an effective methodology that incorporates minerals and antioxidants in *Pleurotus ostreatus* L. mushroom.

*Key words:* *Pleurotus ostreatus* L., matrix engineering, vacuum impregnation, Vitamin E, Vitamin C, Calcium, Zinc.

## INTRODUCCIÓN

Las deficiencias nutricionales presentes dentro de determinados grupos poblacionales, sumado a los cambios en los hábitos de alimentación generados por el conocimiento e interés de los consumidores sobre el balance de la dieta y los beneficios saludables de algunos alimentos, han promovido el uso de nuevas técnicas que permiten la incorporación de componentes con actividad biológica en alimentos naturales o procesados y proporcionar determinadas características funcionales, que contribuyen a la prevención de algunas enfermedades. Esta gama de alimentos que reúnen estas características específicas sobre la nutrición y la salud (mejora sobre el estado de salud y/o reducción del riesgo de enfermedad) de los consumidores son denominados alimentos funcionales [1].

La ingeniería de matrices es una metodología de obtención de alimentos funcionales, la cual utiliza la técnica de impregnación a vacío (IV). Esta metodología es una herramienta de la ingeniería de alimentos que permite modificar la composición química y la estructura de alimentos porosos, mediante la transferencia de masa en tiempos cortos, obteniendo alimentos con características similares al producto en fresco y con excelentes atributos de color, textura y sabor [2, 3]. La metodología, ha sido aplicada durante la última década a una gama de frutas y vegetales, como vehículos para la incorporación de soluciones con solutos y compuestos fisiológicamente activos (CFA). Dentro de los CFA a incorporar se encuentran el calcio, antioxidantes como las vitaminas C y E, y el zinc. La vitamina E es una vitamina liposoluble cuyas evidencias científicas avalan su gran capacidad antioxidante y su uso en la industria

alimentaria y farmacéutica, logrando impedir o retardar la oxidación de diversas sustancias principalmente los ácidos grasos, cuyas reacciones se producen tanto en los alimentos como en el organismo humano [4], donde puede provocar alteraciones fisiológicas importantes desencadenantes de diversas enfermedades [5]. La vitamina E, facilita el uso fisiológico del oxígeno por parte de las mitocondrias celulares, ayudando a reducir los efectos del estrés oxidativo y la falta de oxígeno, formando complejos que mitigan las reacciones productoras de radicales libres y por consiguiente desempeñando una función fundamental en la prevención de las enfermedades crónicas no transmisibles [6, 7]. La vitamina C o ácido ascórbico es un micronutriente esencial necesario para el normal funcionamiento metabólico del cuerpo, y como antioxidante es ampliamente utilizado en el desarrollo de productos alimentarios, por ser un donador de los átomos de hidrógeno [8]. El calcio es un mineral clave en el cuerpo humano, necesario para el normal crecimiento y desarrollo del esqueleto, así como también de los dientes, nervios, músculos y de las funciones enzimáticas; además, como la capacidad del cuerpo para absorber calcio disminuye con la edad, es necesario el suministro constante en la dieta [9]. El zinc presenta actividad metabólica (cofactor enzimático), además de las funciones en el aparato reproductor y la piel [10].

Los productos mínimamente procesados son aquellos que incluyen una combinación de procedimientos: lavar, arreglar, pelar, rebanar o cortar, IV (dados los beneficios de la técnica) y empacar, obteniendo alimentos nutritivos, saludables y convenientes.

Los hongos han sido reportados como alimentos terapéuticos, usados en la prevención de enfermedades como la hipertensión, hipercolesterolemia y el cáncer [11, 12, 13]. Estas características funcionales son debidas principalmente a la fibra dietaria presente y en particular la quitina y el betaglucano los homo y heteroglucanos con enlaces  $\beta(1-3)$ ,  $\beta(1-4)$  y  $\beta(1-6)$  [14]. El hongo *Pleurotus ostreatus* L. se encuentra en la lista de 37 especies de hongos descritas por

Guzmán, 1994 [15], utilizadas en la medicina tradicional de Mesoamérica y México. Se describe como un alimento que produce retardo del crecimiento de tumores, por su actividad inmunomodulatoria, actúa como potenciador de la defensa del huésped [13].

La acción fisiológica de los CFA, sumado a las bondades naturales del hongo *Pleurotus ostreatus* L., como su alto contenido de potasio (recomendado en mujeres embarazadas), altos contenidos de fibra, bajo aporte calórico, alto valor nutricional, presencia de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, resulta muy interesante para la salud de la sociedad. El objetivo de ésta investigación, fue desarrollar un producto mínimamente procesado a partir del hongos *Pleurotus ostreatus* L. fortificado con vitaminas C y E y minerales Ca y Zn, utilizando la ingeniería de matrices como metodología de obtención de alimentos funcionales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Materias primas** Se utilizaron hongos enteros comestibles *Pleurotus ostreatus* L., de orígenes Colombianos, suministrados por la empresa Bioecológicos S.A (Rionegro-Antioquia). Para la disolución de impregnación se emplearon: NaCl, pectina de bajo metoxilo, citrato de calcio (23% de calcio y 99% pureza), ácido cítrico (98% pureza), ácido ascórbico (99% pureza), vitamina E (DL- $\alpha$ - tocoferol acetato al 99% de pureza), glicinato de zinc (20% Zinc y 99% pureza), Tween 80 (Polioxietilen sorbitan monooleato), Span 60 (Monoesterato de sorbitano) (Bell Chem S.A).

**Caracterización Fisicoquímica** Se determinó acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico NTC 4623/99 [16], porcentaje de cloruros NTC 210/00 [17], humedad AOAC 930.15/90 adaptado de Cortes, 2004 [18, 19], pH por medida potenciométrica (Hanna pH 211), contenido de sólidos solubles expresados como °Brix según lectura refractométrica a 20°C NTC 4624/99 [20], actividad de agua ( $a_w$ ), con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón serie 3, modelo 3TE). El color se determinó sobre la superficie del sombrero del hongo



(cara lisa: CL) y en el envés del mismo (cara rugosa: CR), a partir de las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$  ( $L^*$ : luminosidad,  $a^*$ : cromaticidad roja/verde y  $b^*$ : amarillo/azul, utilizando el espectrofotómetro X-RITE, SP64, iluminante  $D_{65}$  y observador de  $10^\circ$ . La textura del producto, se determinó en la CL, a partir de ensayos de punción utilizando el analizador de textura TA.XT2i, (Stable Micro Systems), embolo metálico de 2 mm de diámetro y una velocidad de penetración de 4 mm/s hasta una distancia 5 mm y una celda de carga de 1500 g.

**Proceso de Impregnación al vacío (IV)** El proceso de impregnación fue realizado en un sistema diseñado en la Universidad Nacional de Colombia (Centricol Ltda., Medellín-Colombia) el cual consta de una cámara en acero inoxidable, un sistema electromecánico que está acoplado a una balanza de precisión que permite determinar la evolución de la masa del producto y del líquido de impregnación en cada una de las etapas del proceso, y una bomba de vacío para generar presiones subatmosféricas, registradas en un vacuómetro (0-30“Hg). Mediante estudios preliminares de impregnación con una solución isotónica de NaCl (1,6% p/p) se determinó la fracción volumétrica de impregnación  $m^3$  solución isotónica/ $m^3$  hongo fresco (X), según la metodología descrita por Salvatori *et al.*, 1998 [21]. El sistema de impregnación (hongo-emulsión de impregnación) fue sometido a una presión de vacío 150,4 mm Hg durante 5 minutos, después se restableció la presión atmosférica y se mantuvieron sumergidas las muestras de hongos por 5 minutos más.

**Emulsión de impregnación** La composición de los CFA en la emulsión de impregnación fortificada (EIF) se determinó a partir del balance de masa en el sistema de impregnación [19], con el objetivo de obtener un 100% del valor diario recomendado (VDR) según el Decreto 288 de 2008 (Min. Protección Social, Colombia), en las vitaminas C y E, 30% de zinc por cada 100 g hongos frescos; el calcio se formuló en una relación 30 mg  $Ca^{+2}$ /g pectina de bajo metoxilo, para inducir a una gelificación suave de la EIF en los espacios intercelulares y así, además de fortificar

contribuir en su retención en el interior de la estructura. La adición de ácido cítrico como conservante se fijó en 125 mg/100 g hongo fresco, y los tensoactivos Tween 80 y Span 60 se fijaron de acuerdo a un estudio de caracterización de la concentración micelar crítica de estos, desarrollada en trabajos preliminares de emulsiones de fortificación con vitamina E [19]. La EIF se preparó en un recipiente de vidrio con chaqueta de enfriamiento, acoplado a un homogenizador (T-50 basic Inline ultra-turrax) y operado a 10000 rpm durante 10 min.

**Caracterización sensorial** Se realizó acorde a la NTC 5328/04, los descriptores elegidos fueron: color y olor característico, olor terroso y textura táctil (dureza y humedad). La prueba se realizó por cinco jueces entrenados pertenecientes al laboratorio de análisis sensorial de Tecnas S.A.

**Caracterización microbiológica** Se realizó de acuerdo al manual del INVIMA para análisis microbiológicos, 1998 [22] para ensaladas, frutas y verduras crudas.

**Determinación analítica de los CFA** Se determinaron los contenidos de calcio y zinc, por espectrofotometría de absorción atómica NTC 5151/04 [20] al hongo fresco e impregnado en los tiempos de control 0 y 12 días. El contenido de vitamina E se determinó por HPLC (Shimadzu Prominence 20A), utilizando una columna Premier C18, tamaño de partícula 5  $\mu$ m, 250 mm x 4,6 mm y un arreglo de diodos con lecturas a 285 nm. Se utilizó un horno programado a 45°C y una fase móvil metanol/acetonitrilo (75/25). Se realizaron dos curvas de calibración diluidos en metanol, una con el estándar primario Supelco DL-alpha Tocopherol Acetate (rango 0,01 – 0,2 mg/mL) y otra con el estándar primario Supelco DL-alpha Tocopherol (rango: 0,0019 mg/mL – 0,9966 mg/mL). La extracción de los componentes con actividad de vitamina E, se realizó a partir del método descrito por Kmostak y Kurtz, adaptado por Cortes [23, 19]. El contenido de vitamina C se determinó, utilizando el método de titulación oxidométrica 2,6 diclorofenol indofenol [24].

**Caracterización microestructural** Se utilizó el microscopio electrónico de barrido (Jeol JSM 5950 LV, Alemania) con micrografías desde 95 a 15000 aumentos, para observar los cambios debidos al proceso de impregnación. Las muestras fueron inicialmente congeladas en N<sub>2</sub> líquido, liofilizadas y recubiertas con oro y posteriormente se sometieron en el microscopio a 25 Pa de vacío y 15 kv de corriente eléctrica, según protocolo establecido por el laboratorio.

**Almacenamiento** Se evaluó la evolución de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y la estabilidad de los CFA en los productos impregnados con la EIF, almacenados a una temperatura de 4°C, y tiempos de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días. Se utilizó como empaque una bandeja de polietilentereftalato/polietileno de baja densidad (PET/LDPE, permeabilidad despreciable), recubierta con laminado de polipropileno biorientado/polietileno de baja densidad (BOPP/LDPE) de 54 µm espesor, con permeabilidad al vapor de agua: 0,3 g/m<sup>2</sup>/24h/atm, T=25 °C; O<sub>2</sub>: 3400 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h/atm CO<sub>2</sub>: 12000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h/atm y dimensiones 13 x 18 x 4,5 cm (Alico S.A) y dos tipos de atmósfera de envasado: ambiente (atmósfera 1) y una mezcla de gases (10% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> y 80% N<sub>2</sub>) (atmósfera 2). Las muestras antes de empacarlas, fueron colocadas bajo refrigeración a 4°C durante 3 horas, para hacer un ligero secado superficial de la EIF adherida principalmente en la CR del hongo, además para favorecer la interacción calcio-pectina por deshidratación del producto y aceleración de la tasa de gelificación.

**Análisis de datos** Los resultados fueron analizados a partir de ANOVA en un modelo multifactorial completamente aleatorizado de factores de efectos fijos: empaque, atmósfera de envasado, tiempo de almacenamiento, utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) para comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0,05$ ). El análisis de varianza fue realizado con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

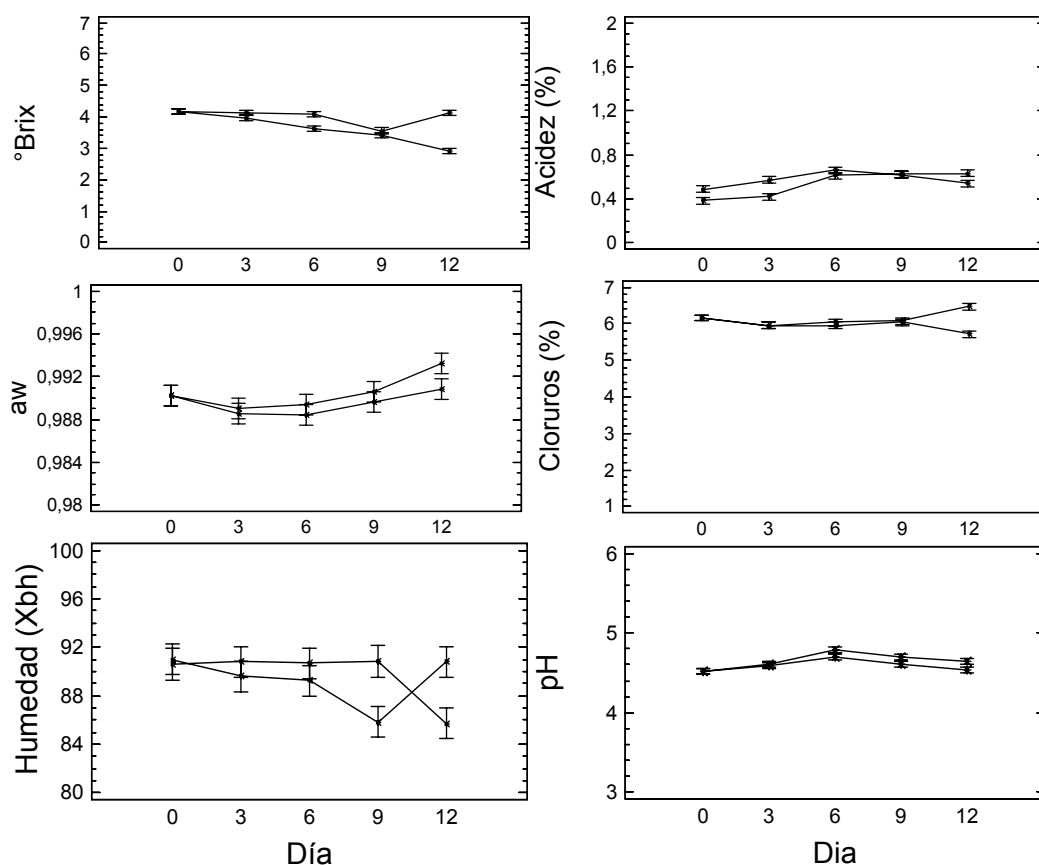
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Emulsión de impregnación fortificada (EIF)** Los valores de X obtenidos mediante pruebas con solución isotónica de NaCl (1,6%) en función del tamaño hongos fue de  $39,7 \pm 8,6\%$  (5,5  $\pm$  1,4 g, hongos pequeños) y  $31,2 \pm 10,7\%$  (12,2  $\pm$  2,2 g, hongos grandes), no se observó diferencias estadísticas significativas pero si amplios coeficientes de variabilidad, debido a la misma complejidad de la matriz estructural. Estos resultados para el hongo pequeño se consideran estadísticamente similares a los reportados por Grass *et al.*, 2002 [25] ( $X = 40 \pm 5\%$ ) e identifican al hongo como una estructura apropiada para el proceso. En otras investigaciones de hongos fortificados con calcio, selenio y vitamina C, valores de X del orden del 11% [26]. Esta variabilidad, indica que la respuesta a la IV, está afectada grandemente por las condiciones del sistema de producción (sustrato, humedad relativa, temperaturas, frecuencia de riego, etc.) [27].

Para efectos del cálculo de la composición de la EIF, se trabajó con el menor valor de X y así tener una mayor concentración de los CFA en la EIF, para garantizar mayores niveles de CFA. La composición final de la EIF fue: vitamina C (0,233% p/p), ácido cítrico (0,485% p/p), DL-  $\alpha$ -tocoferol acetato (0,085% p/p), glicinato de zinc (0,072% p/p), pectina de bajo metoxilo (0,1% p/p), citrato de calcio (0,013% p/p), Tween 80 (0,051% p/p) y Span 60 (0,049% p/p).

**Evolución de los parámetros fisicoquímicos durante el almacenamiento** La figura 1 presenta los valores medios con los intervalos LSD (95%) de los parámetros de pH, °Brix, humedad, acidez,  $a_w$  y cloruros durante el almacenamiento. Los resultados del ANOVA muestran diferencias estadísticas significativas en los parámetros °Brix, pH, acidez,  $a_w$ , cloruros y humedad con respecto a los factores tiempo de almacenamiento y la atmósfera de envasado ( $P < 0,05$ ). Los °Brix presentan para ambas atmósferas una tendencia a disminuir, esto relacionado con la utilización de carbohidratos por los procesos metabólicos para obtención de energía, lo cual es

más acentuado en la atmósfera ambiente, seguramente por la mayor presión parcial de  $O_2$  que acelera la actividad respiratoria. La acidez presenta un incremento durante los primeros 6 días y posteriormente se estabiliza para la atmósfera 2, mientras que para la atmósfera 1 disminuye. Estos resultados son coherentes con lo observado en el pH y atribuible a un balance de iones  $H^+$ , que resultan del inicio de procesos fermentativos y de la degradación del ácido ascórbico al actuar como un potente antioxidante [8].



**Figura 1.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de °Brix,  $a_w$ , % acidez, % cloruros, humedad y pH en hongos fortificados (*Pleurotus ostreatus* L.) en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado (atmósfera 1: línea continua y atmósfera 2: línea punteada).

La  $a_w$ , a pesar de presentar diferencias estadísticas, no se considera un cambio apreciable, debido a los coeficientes de variabilidad bajos, absorbidos por los rangos de precisión del equipo ( $\pm 0.003$ ). En todos los casos, los valores de  $a_w$ , sumado a valores de pH, identifican a este

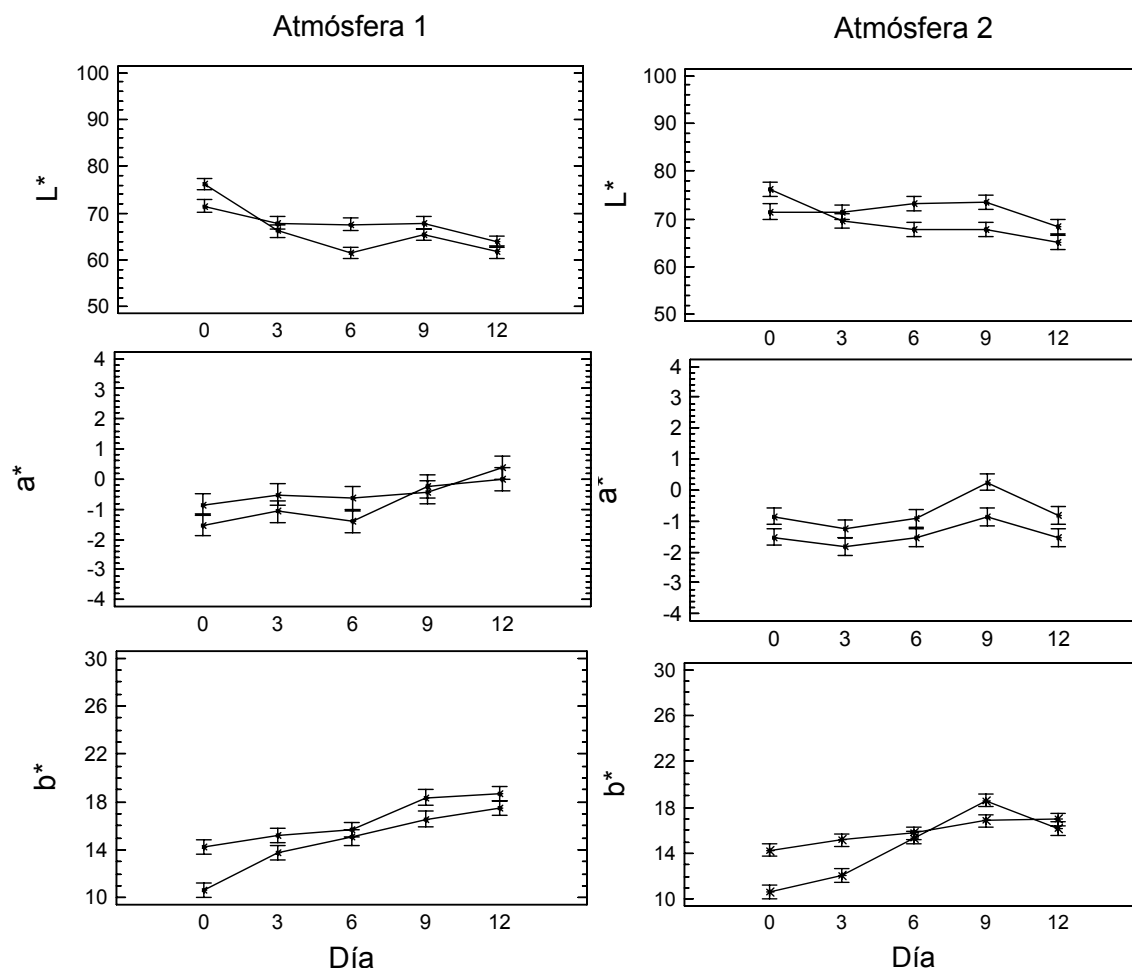
producto como un producto muy perecedero, con posibilidades de crecimiento de mohos, levaduras y patógenos. El contenido de humedad durante los primeros controles, presenta para ambas atmósferas valores similares, posteriormente se presentan fluctuaciones que son atribuibles a las variaciones propias de los niveles de impregnación en los lotes evaluados para estos días. Los valores encontrados, de  $a_w$  y  $X_{bh}$  son similares a los reportados en hongos fortificados con calcio, selenio y vitamina C, mientras que la acidez y el pH presentan valores ligeramente inferiores, los °Brix y cloruros valores ligeramente superiores [26, 28]. Estas diferencias se asumen debido a la composición de cada solución de impregnación utilizada.

**Evolución del color durante el almacenamiento** La figura 2 presenta los valores medios con los intervalos LSD (95%) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en CL y CR de hongos impregnados fortificados en función del tiempo de almacenamiento y atmósfera de envasado.

El ANOVA, presentó diferencias estadísticas significativas en los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  ( $P < 0,05$ ) por efecto del tiempo de almacenamiento y el tipo de cara para las dos atmósferas de envasado, excepto para la cromaticidad  $a^*$  con respecto al factor cara en la atmósfera 1. La luminosidad ( $L^*$ ), presenta una tendencia a disminuir (más oscuras) con el tiempo, debido a la ocurrencia de los procesos de pardeamiento enzimático y no enzimático en el producto.

En general, los valores de  $L^*$  fueron mayores en la CR que en la CL, lo cual es atribuible principalmente a la película de EIF de tonalidad blanca que queda adherida y atrapada en la superficie y que posteriormente durante el proceso de relajación y respiración es liberada hacia el interior del empaque. Por otro lado las muestras envasadas en la atmósfera 2, tienden a ser menos oscuras que las de la atmósfera 1, lo cual es atribuible a la menor presión parcial de  $O_2$  que disminuye la actividad enzimática de la polifenoloxidasas presente en las variedades de hongos comestibles [29]. Para la atmósfera 1 hay una tendencia al aumento de los valores de  $a^*$  y  $b^*$ , manteniéndose en la zona de los tonos grises dentro de las coordenadas cromáticas ( $a^*b^*$ ). Para

la atmósfera 2, hay una tendencia de mantenerse los valores de  $a^*$  e incrementar  $b^*$ , pero siendo el resultante tonos igualmente grises.

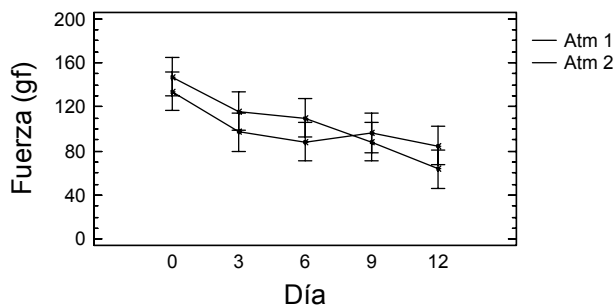


**Figura 2.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en las CL (línea continua) y CR (línea punteada) de hongos impregnados fortificados en función del tiempo de almacenamiento y atmósfera de envasado.

En general, los componentes antioxidantes presentes en la EIF están interactuando con las reacciones degenerativas en el producto. En este caso la presencia de la vitamina E, está contribuyendo en forma sinérgica con el ácido ascórbico actuando como mecanismo de amortiguación al proceso de pardeamiento enzimático y más aún cuando las condiciones de pH del producto pueden ser favorables a esta reacción, sin necesidad que se den temperaturas altas.

Por otro lado, el hongo *Pleurotus ostreatus* L. es una estructura alimentaria que también presenta reacciones de pardeamiento no enzimático durante el almacenamiento, debido a la reacción de azúcares reductores como la glucosa, con aminoácidos presentes como la lisina y la arginina [30]; además, otras reacciones de carácter oxidativo, tales como la degradación oxidativa del ácido ascórbico y/o la conversión de polifenoles en policarbonilos [30, 31] pueden contribuir igualmente al oscurecimiento.

**Evolución de la textura del producto** La figura 3 presenta la evolución de los valores medios con los intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación (gf) en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la EIF en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.



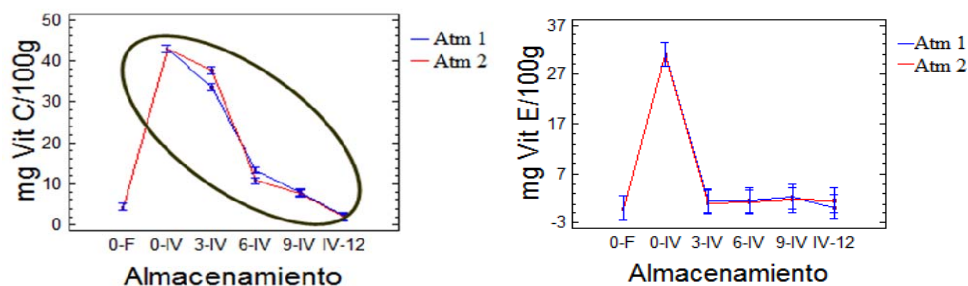
**Figura 3.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la EIF en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.

Los resultados del ANOVA presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) en la fuerza por efecto del factor tiempo de almacenamiento y no por la atmósfera de envasado ( $P > 0,05$ ). Se observa unos coeficientes de variabilidad altos, posiblemente por las características propias del producto. La disminución de la resistencia a la deformación con el tiempo, es debida probablemente a la degradación de los componentes macromoleculares presentes en las paredes celulares, que imparten la rigidez del producto y a los procesos metabólicos y de transpiración presentes durante su senescencia. Algunos autores han encontrado un comportamiento contrario



con el tiempo en la misma variedad, pero de zonas y condiciones de producción diferentes, además, asociado a mayores criterios de fortificación con calcio [26].

**Evolución del contenido de los CFA durante el almacenamiento** La figura 4 presenta los valores medios con los intervalos LSD (95%) del contenido de vitaminas C y E en hongos impregnados en función del tiempo de almacenamiento y atmósfera de envasado.



**Figura 4.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) del contenido de vitamina C y E de hongos impregnados, en función del tiempo de almacenamiento y atmósfera de envasado

El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas para ambas vitaminas por efecto del factor impregnación, alcanzando en las muestras recién impregnadas (0-IV) niveles de vitamina C de  $43,0 \pm 2,33$  mg VitC/100 g ( $71,7 \pm 3,9\%$  VDR) y para la vitamina E de  $30,91 \pm 6,91$  mg VitE/100 g ( $103,0 \pm 23,0\%$  VDR). Estos valores reflejan que el proceso IV resulta adecuado para la incorporación de estos CFA en su estructura, sin embargo es importante resaltar que para la vitamina C, los valores fueron menores que el criterio teórico fijado con lo que se diseñó la EIF, lo cual es atribuible a la complejidad de la microestructura de esta matriz, principalmente en la CR, donde parte del líquido de impregnación queda adherido a la superficie, y posteriormente podría migrar hacia el interior del empaque, debido a la relajación de la estructura durante el almacenamiento. Para ambas vitaminas, el ANOVA presentó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) por efecto del factor tiempo y no por efecto del factor atmósfera de envasado (comportamientos muy similares). La vitamina C presenta en ambas atmósferas una disminución progresiva con el

tiempo, la cual se ajustó a una cinética de orden cero (ver tabla 1), asociada al uso como receptora de electrones producto de las reacciones de oxidación.

**Tabla 1.** Cinéticas de degradación de vitamina C en hongos (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la EIF.

Atmósfera	X	Y	Ecuación	R <sup>2</sup>
1	mg Vit C/100g	Tiempo	$Y = -3.57 X + 41.85$	0,959
	%VDR		$Y = -5.96 X + 69.74$	0,959
2	mg Vit C/100g	Tiempo	$Y = -3.74 X + 43.77$	0,953
	%VDR		$Y = -6.23 X + 72.96$	0,953

La vitamina E presenta en ambas atmósferas una disminución brusca hasta el día 3, y posteriormente se mantiene casi constante hasta el último tiempo de control. El valor medio durante este último periodo fue  $1,52 \pm 1,24$  mg Vit.E/100g ( $7,6 \pm 6,2$  %VDR) y  $1,52 \pm 1,02$  mg Vit. E/100 g ( $7,6 \pm 5,1$  %VDR) para la atmósfera 1 y 2, respectivamente.

La degradación de ambas vitaminas, se atribuye principalmente a su propia funcionalidad como receptores de radicales libres, lo que indica que los CFA adicionados, fueron requeridos por el hongo para sus diversos procesos metabólicos y respiratorios como antioxidante en el interior de la estructura y para efectos de resaltar al hongo como vehículo de fortificación, es necesario considerar niveles superiores a los fijados en la investigación. La vitamina C, es la más inestable y lábil, debido a la alta reactividad de la estructura del enediol. Como ruta principal de degradación el ácido ascórbico se oxida a ácido dehidroáscorbico y a su vez el ácido dehidroáscorbico se sigue oxidando y se transforma en ácido 2,3-dicetogulónico que no tiene actividad biológica. Según sean las condiciones del sistema, y por medio de una degradación de Strecker el ácido 2,3-dicetogulónico se cicla y produce anhídrido carbónico y furfural; este último se polimeriza y forma las melanoidinas, de manera semejante a las que ocasionan el oscurecimiento no enzimático. Este mecanismo se complica considerablemente si hay presencia

de azúcares reductores y aminoácidos que favorecen diversas rutas de degradación [29]. La oxidación del ácido ascórbico está en función de muchas variables, principalmente la temperatura, el pH, la disponibilidad de oxígeno, los azúcares reductores, algunas sales, peróxidos, ciertas enzimas y la presencia de otras vitaminas. Es importante resaltar el efecto de la  $a_w$ , ya que a medida que se aumenta se favorece la degradación del ácido ascórbico y además los metales de transición presentes o adicionados como el cobre, hierro y zinc, catalizan este proceso. Para el caso del hongo, con valores de  $a_w > 0,65$ , la velocidad de degradación se incrementa, debido a que en estas condiciones el agua permite el transporte de los metales y favorece su acción. Además, la enzima ácido ascórbico oxidasa presente en productos vegetales frescos, puede tener completa actividad catalítica, la cual debido a la similitud de las células y sus procesos fisiológicos, podría encontrarse también en esta matriz alimenticia [29].

La disminución acelerada de vitamina E ocurre al inicio de almacenamiento y podría estar afectada por diversos fenómenos tales como, la oxidación por la presencia de  $O_2$  en las atmósferas de envasado y por la migración anteriormente comentada, debido a la insuficiente retención de la EI en la estructura. La formación de radicales libres en presencia de  $O_2$ , inicia una reacción en cadena con la vitamina, dando lugar a numerosos peróxidos y sus productos de degradación. En realidad, se trata de una típica reacción de enranciamiento [32]. Otra de las reacciones que ocurre en los compuestos con actividad de vitamina E es con el oxígeno singlete, el cual ataca directamente al anillo del cromanol produciendo un intermedio transitorio de  $\alpha$  tocoferol hidroperoxidinona para producir finalmente  $\alpha$ -2,3-oxi-tocoferil quinona y  $\alpha$ -tocoferil quinona [8].

La tabla 2 presenta los valores medios y sus desviaciones estándar niveles de calcio y zinc en hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la EIF. Para el caso del calcio y

zinc, el ANOVA reflejó diferencias significativas por efecto del factor impregnación, siendo coherente con lo observado en las vitaminas y por efecto del tipo de atmósfera, alcanzando niveles superiores a los 12 días en la atmósfera 1, lo cual se puede atribuir a la alta variabilidad encontrada en el proceso IV, que hace que algunas muestras presenten contenidos mayores de minerales.

**Tabla 2.** Niveles de calcio y zinc en hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con EIF durante el almacenamiento.

Mineral	Estado	mg Ca <sup>+2</sup> /100g	%VDR
Calcio	Fresco	0,31 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	IV-0	4,58 ± 0,06	0,46 ± 0,01
	IV-12, Atm 1	5,35 ± 0,40	0,53 ± 0,04
	IV-12, Atm 2	4,55 ± 0,06	0,45 ± 0,01
Zinc	Fresco	0,88 ± 0,01	5,9 ± 0,1
	IV-0	4,23 ± 0,03	28,2 ± 0,2
	IV-12 Atm 1	5,07 ± 0,40	33,8 ± 2,7
	IV-12 Atm 2	4,40 ± 0,07	29,3 ± 0,5

Los resultados obtenidos en el proceso IV con minerales se muestran muy positivos, que hacen de esta matriz apta para procesos de fortificación, ya que estos CFA poseen cargas que favorecen la interacción con los tejidos celulares y una alta capacidad de retención dentro del producto, además de no ser susceptibles a los procesos de degradación normales que pueden sufrir los macronutrientes o las vitaminas dentro de los alimentos. Aunque los minerales están relacionados con las funciones metabólicas (factores coenzimáticos), no sufren procesos de transformación o degradación como tal, solo de reducción u oxidación. Los valores promedios obtenidos para el zinc en las muestras impregnadas, estuvieron en un rango de 28,2 y 33,2% RDC, lo que refleja la efectividad del proceso IV al compararlo con el criterio de fortificación fijado (30% VDR).

En la presente investigación, los niveles de calcio fueron bajos y condicionados por la relación calcio/pectina, al inducir a la formación de un sistema de gelificación suave en el interior de la

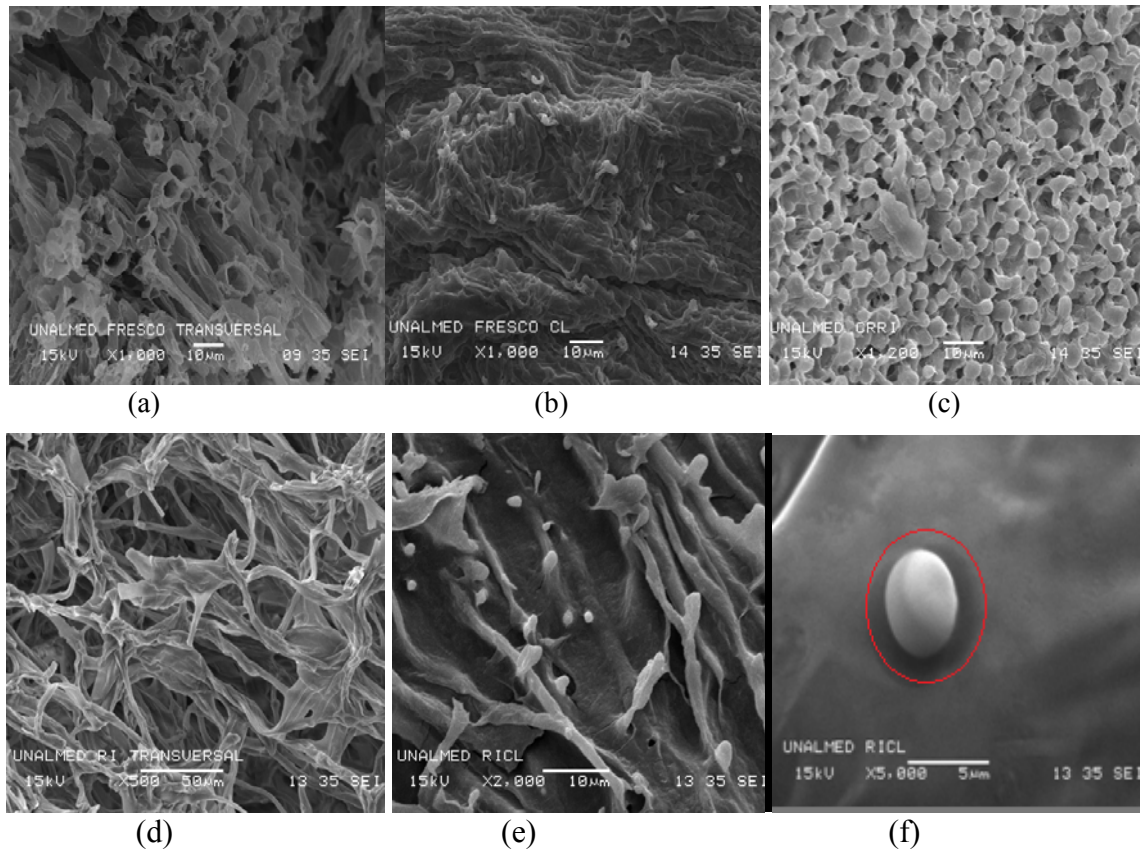
estructura y así minimizar el problema de migración de la EIF. Diversos estudios de fortificación con calcio aplicando la IV en otras estructuras alimentarias han obtenido buenos resultados. En champiñones (*Agaricus bisporus*) previamente blanqueados e impregnados se alcanzaron contenidos de hasta 2400 ppm [33], en manzanas 1150 y 2050 ppm [33, 34]. Finalmente, procesos de fortificación con calcio y selenio en *Pleurotus ostreatus* L., alcanzaron niveles de  $52,3 \pm 0,6$  mg Ca/100 g (7,3% VDR) y  $0,0226 \pm 0,0001$  mg Se/100 g (42,3% VDR) [26].

**Caracterización microestructural del hongo** La figura 5 presenta micrografías del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus* L.) en estado fresco y recién impregnado con la EIF. La microestructura del hongo, muestra una configuración espacial en forma de tubos capilares, conformada por miles de fibras entrelazadas que se comunican entre sí de manera compleja y desordenada a lo largo de toda la masa (a, b y d). Estos capilares conforman las paredes y membranas celulares del hongo con inicios tubulares en la CL (a) y terminaciones esféricas en la CR (sistema de hifas) (c), las cuales son responsables de la porosidad del producto.

El efecto del proceso IV sobre el hongo, provocó cambios microestructurales del producto, debido al acoplamiento del mecanismo hidrodinámico y al fenómeno de relajación y deformación, esto condujo a la salida de líquidos + solutos y gases desde los espacios intercelulares en la etapa de vacío, donde se expone la estructura a un estado de tensión (d); posteriormente con el ingreso de la EIF, se refleja un engrosamiento de las membranas y paredes celulares de sus capilares, confiriendo una textura elástica y de buena resistencia.

Un factor importante en los cambios microestructurales, lo representa la velocidad de salida de los fluidos en la etapa de vacío y la velocidad de ingreso de la EIF siendo esta última mayor. Lo anterior podría estar contribuyendo a que en el proceso de relajación del hongo impregnado durante el almacenamiento, se evidencie la pérdida de líquido de impregnación, como fue corroborado en el desarrollo experimental.

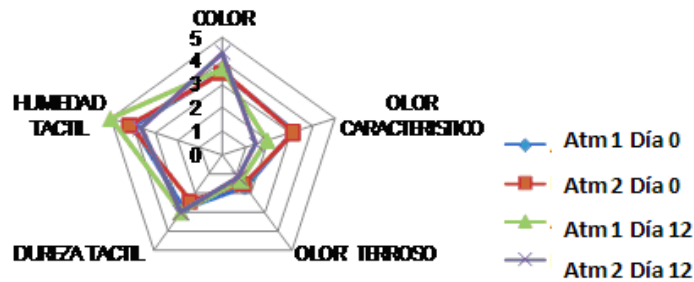
Las micrografías, muestran principalmente la presencia de EIF (e) y de vitamina E en los espacios intercelulares, en forma esférica con un diámetro aproximado entre 4 y 5  $\mu\text{m}$  (f); mientras que los minerales se encuentran absorbidos en las paredes celulares de las hifas (c).



**Figura 5.** Microestructura de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* L. frescos y recién impregnados (RI) con la EIF, vistos en diferentes secciones, transversal y CL fresco (a) y (b), y recién impregnados (c), (d), (e) y (f).

**Evaluación sensorial** La evaluación de los atributos sensoriales fue calificada en una escala de 5 puntos (1 ausente-5 fuerte). Los atributos que marcaron los cambios durante el almacenamiento fueron el color, olor y humedad táctil, la magnitud del cambio percibido por los jueces fue mayor para el color en los hongos empacados en la atmósfera 1 después de 12 días, observándose más intenso (tono pardo), para esta misma condición de envasado se presentó mayor pérdida del olor característico, 25% con respecto al día 0 de almacenamiento. La humedad táctil fue percibida con

mayor intensidad el día 12 de almacenamiento para los hongos empacados en atmosfera 2, como puede observarse en la figura 10. Esto se correlaciona bien con los datos objetivos de  $a_w$  y coordenadas colorimétricas.



**Figura 6.** Valores medios de las calificaciones de los atributos sensoriales en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la EIF en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado

**Análisis microbiológico** Para ambas atmósferas los controles de coliformes totales, fecales, salmonella, *Clostridium sp*, y *Pseudomonas sp*, estuvieron dentro de la norma colombiana [22]. En general, los recuentos de mohos, levaduras y aerobios mesófilos, sin llegar a ser obligatorios para las ensaladas crudas, denotan una mejor calidad microbiológica en los hongos envasados en la atmósfera 2.

Investigaciones específicas, sobre el efecto en la vida útil del *Pleurotus ostreatus* L. son muy escasas, se reportan trabajos con hongo Shiitake (*Lentinus edodes*) empacado con cobertura de polietileno de baja densidad a condiciones atmosféricas, que establecen una vida útil de 12 días a 5°C de refrigeración [35], en champiñón (*Agaricus bisporus*) de 6 días bajo refrigeración a 4°C [36]. Comercialmente los hongos tienen establecidos un tiempo de vida útil de 8 días o menos, en condiciones de refrigeración a 4°C, debido a su alta tasa metabólica, siendo uno de los problemas críticos el agua condensada en el interior del empaque y la microflora propia del hongo.

Para este propósito, de acuerdo a las valoraciones objetivas y subjetivas del estudio, se obtuvo un hongo *Pleurotus ostreatus* L. fortificado con vitaminas C, E, calcio y zinc, con atributos de

calidad aceptables hasta el día 12, lo que representa un logro en el aumento de la vida de anaquel del 50%.

## CONCLUSIONES

La ingeniería de matrices a través de la técnica IV se presenta como una metodología efectiva que incorpora minerales y antioxidantes en la estructura del hongo *Pleurotus ostreatus* L.. La respuesta a la IV, se ve afectada por la compleja estructura del hongo, siendo muchos los factores (tamaño del hongo, distribución y tamaño de poro, sustrato, proceso productivo, la viscosidad y composición de la EIF, etc.) que influyen en garantizar niveles fijos de CFA en el producto final. El proceso permitió alcanzar niveles de vitamina C de  $71,7 \pm 3,9$  % VDR/100 g y vitamina E de  $103,0 \pm 23,0$  % VDR/100 g, siendo la cinética de degradación de la vitamina C de orden cero. A los 12 días de almacenamiento por cada 100g de hongo fresco, se alcanzó en ambas atmósferas un nivel aproximado de 3,5% VDR Vit.C y 7,6% VDR Vit.E, 30% VDR de zinc. El calcio, contribuyó a obtener una textura aceptable con características elásticas y una buena resistencia a la deformación y niveles de  $5,35 \pm 0,40$  y  $4,55 \pm 0,06$  mg Ca para las atmósferas 1 y 2 respectivamente.

Los parámetros fisicoquímicos se vieron afectados por la EIF, por el tiempo de almacenamiento y la atmósfera de envasado. En el producto se incrementó los °Brix y el % acidez y se mantuvo la  $a_w$ , la humedad y los cloruros. El pH fue coherente con los cambios del % acidez. El color permitió identificar que el hongo impregnado con la EIF tiene una influencia positiva en el control del pardeamiento enzimático y no enzimático y así se obtuvo un producto con un color aceptable hasta el día 12. Los valores de luminosidad ( $L^*$ ) tienden a disminuir con el tiempo (menos claras) y sosteniéndose en el plano cromático  $a^*b^*$  en las tonalidades grises. Se evidenció



la presencia de partículas de vitamina E en el interior de la estructura con diámetros entre 4 y 5  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo a las valoraciones objetivas (métricas) y subjetivas (sensorial) se fijó un tiempo de vida útil de 12 días, lo que permitió que el tratamiento aplicado aumenta el tiempo en anaquel en un 50%.

## BIBLIOGRAFÍA

1. G. Mazza. "Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado". Zaragoza. Ed. Acribia S.A. España, 2000. pp. 352.
2. N. Betoret, L. Puentes, M.J Díaz, M.J. Pagán, M.J Garcia, M.L Grass, J. Martínez-Monzó, P. Fito Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *J Food Eng.* Vol. 56. 2003. pp. 273-277.
3. P. Fito, A. Chiralt, N.Betoret, M. Grass, M. J. Cháfer, Martinez-Monzo, A. Andrés, D. Vidal. "Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development". *J Food Eng.* Vol. 49. 2001. pp. 175-183.
4. A. Rosas-Romero. "La autoxidación y la rancidez oxidativa". *Nuevas Fuentes de Antioxidantes Naturales*. 2004. pp. 261-272.
5. N. Ramarathnam; K. Ochi, M. Takeuchi. "Antioxidant defense in Vegetable extracts". *Natural Antioxidants Chemistry, health effects and applications*. Ed. F. Shaidi, 1996. pp. 76 -78.
6. Y. Yoshida, E. Niki, N. Noguchi. "Comparative study on the action of tocopherols and tocotrienols as antioxidant: Chemical and physical effects". *Chem Physics Lipids*. Vol. 123 (1). 2003. pp 63-75.
7. J.Curtay, J. Lyon. *La enciclopedia practica de las vitaminas, las sales minerales y los oligoelementos*. Salvad editores S.A. 2000. pp 127-136.
8. O. R. Fennema, "Química de los Alimentos". 2ª edición. Editorial Acribia S.A. 2000. pp. 633-734.
9. F. Brouns, C. Vermeerc. "Functional food ingredients for reducing the risks of osteoporosis", *J Food Sci Technol*. Vol. 11. 2000. pp. 22-33.
10. R. Moreno. Nutricion y dietetic para tecnólogos en alimentos. Ed. Diaz de Santos.2000. pp.287.

11. P. Bobek, S. Galbavy. "Hypocholesterolemic and antitherogetic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rabbit". *Nahrung*. Vol. 43(5), 1999. pp. 339-342.
12. P. Bobek, L. Ozdyn, L. Kuniak, L. "The effect of oyster (*Pleurotus ostreatus*) its ethanolic extract and extraction residues on cholesterol levels in serum lipoproteins and liver of rat". *Nahrung*, Vol. 39.1995. pp 98-99.
13. M. Moradali, H. Mostafavi, S. Ghods, A. Hedjaroude. "Immunomodulating and anticancer agents in the realm of macromycetes fungi (macrofungi)". *Int Immunopharmacol*. Vol. 7. 2007. pp. 701-724.
14. P. Manzi, L. Pizzoferrato. "Beta glucans in edible mushrooms". *Food Chem*, Vol. 68. 2000. pp. 315-318.
15. G. Guzmán. "Fungi in traditional medicine in Mesoamerica and Mexico". *Rev Iberoam de Micol*. Vol. 11(3). 1994. pp. 81-85.
16. ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas 1999, NTC 4623, NTC 4624. Bogotá D.C.
17. ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas 2000, NTC 210. Bogotá D.C.
18. AOAC International, Official Methods of Analysis of AOAC International, 15th Virginia, USA. 1990
19. M. Cortés. "Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España 2004.
20. ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas 2004, NTC 5328, NTC 5151. Bogotá D.C.
21. D. Salvatori, A. Andrés, A. Chiralt, P. Fito. "The response of some properties of fruits to vacuum impregnation". *J Food Eng* Vol. 21. 1998. pp. 59-73.
22. INVIMA, Instituto de Vigilancia y Control de Alimentos y Medicamentos, Colombia. Manual de análisis microbiológicos, trazable a las normas de la AOAC Official Methods: 988.18, 966.24, 967.27, 17.2.02 Ed. 17; 972.45 y 975.55 Ed. 45. 1998.
23. S. Kmostak, D. Kurtz. "Rapid Determination of Supplemental Vitamin E acetate in Feed Premixes by Capillary Gas Chromatography". *J. AOAC Int*. Vol. 76 (4). 1993. pp. 735-741.
24. D. J. Favell. "A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables". *Food Chem*. Vol. 62. 1998. pp. 59-64.
25. M. Grass, D. Vidal-Brotons, N. Betoret, A. Chiralt, P. Fito. "The response of some vegetables to vacuum impregnation". *Innov Food Sci Emerg*. Vol. 3. 2002. pp. 263-269.

26. M. Cortés, A. García, H. Suárez. "Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) con calcio, selenio y vitamina C". *Vitae*. Vol. 14 (1). 2007. pp.16-24.
27. P. Manzi, A. Aguzi, L Pizzoferrato. Nutritional value of mushroom widely consumed in Italy. *Food Chem*. Vol. 73. 2001. pp. 321-325.
28. A. García. Desarrollo de hongos comestibles, *Pleurotus ostreatus* L. mínimamente procesados fortificados con Calcio, Selenio y vitamina C por aplicación de la técnica de impregnación a vacío. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C, Colombia 2007.
29. S. Badui Dergal. "Química de los alimentos". Tercera edición. México. Editorial Alhambra Mexicana. 1996. pp. 311, 345.
30. S. E Fayle, J. A Gerrard. *La reacción de Maillard*. Zaragoza-España. Ed. Acribia; 2005. pp 191.
31. H. R Bolin, R. J Steele."Nonenzymatic Browning in Dried Apples during Storage". *J Food Sci* . Vol. 52 (6). 1987. pp. 1654-1657.
32. Y. Ohkatsu, T. Matura, M. Yamato. "A phenolic antioxidant trapping both alkyl and peroxy radicals". *Polymer Degrad Stabil*. Vol. 81. 2003. pp. 151-156.
33. C. Ortiz, D. Salvatori, S. M. Alzamora. "Fortification of mushroom with calcium by vacuum impregnation". *Lat Am Appl Res*, Vol. 33. 2003. pp. 191-197.
34. S. Anino, M. Salvatori, S. Alzamora. "Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts". *Food Res Int*. Vol. 39. 2006. pp. 154-164.
35. A. Gastón, C. Parentelli, A. Gambaro, C. Lareo, P. Lema. "Sensory shelf life of Shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere". *Postharv Bio Technol*. Vol. 41 (2). 2006. pp. 191-197.
36. K.M Kim, J.A Kob, J.S Leec, H.J Parkb, A. Miford A. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT*. Vol. 39. 2006. pp. 364-371.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

Para todos los diseños experimentales evaluados, las muestras de hongos presentaron diferencias en los parámetros fisicoquímicos y sensoriales por efecto del tiempo de almacenamiento, empaque y tipo de atmósfera.

Bajo la evaluación de empaques y según los resultados en la poca variación de los parámetros fisicoquímicos, se define como mecanismo de empaque, el empaque comercial (empaque control: atmósfera ambiente y bandeja de poliestireno + PVC), al ser más práctico por efecto de costos de producción.

Los cambios de color fueron más acentuados en hongos frescos empacados en el empaque comercial, comparados con todos los valores establecidos para hongos con proceso IV, alcanzando un mayor pardeamiento. Caso similar se presentó para la textura, con una disminución a la resistencia mecánica, debido a los procesos naturales de senescencia del producto, más acentuados por la falta de conservantes y aceptores de electrones presentes en las soluciones de impregnación.

El proceso IV se presenta como una metodología efectiva de incorporación de componentes conservantes y de CFA, especialmente para los minerales.

La respuesta a la IV identifica al hongo como una estructura compleja por la variabilidad microestructural de sus caras, siendo muchos los factores (tamaño, distribución y tamaño de poros, sustrato, proceso productivo, la viscosidad y composición de la solución de impregnación, etc.) que influyen en la vida de anaquel en ambas soluciones, y en garantizar niveles fijos de CFA en el producto final.

Los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, y la microestructura se ven afectados por las soluciones de impregnación.

La textura del producto sometido al proceso de IV, se consideró más adecuada asociada al uso de los agentes mejoradores de textura (pectina y el calcio), al conferirle un sostenimiento de esta a través del tiempo de almacenamiento.

Se alcanzaron los niveles establecidos inicialmente de CFA para la EIF según el criterio de fortificación (vitaminas C y E de  $71.7 \pm 3.9\%$  VDR/100 g y  $103.0 \pm 23.0\%$  VDR/100 g). A los 12 días de almacenamiento, se alcanzó en ambas atmósferas un nivel de 3.5% VDR Vit.C y 7.6% VDR Vit.E, 30% VDR zinc por cada 100 g de hongo fresco y niveles de calcio de  $5.35 \pm 0.40$  y  $4.55 \pm 0.06$  mg Ca para las atmósferas 1 y 2, respectivamente.

Las soluciones de impregnación tuvieron una influencia positiva en el control del pardeamiento enzimático y no enzimático, logrando un aumento en la vida de anaquel del producto, además de los beneficios de conveniencia y nutrición para el consumidor al ser un producto mínimamente procesado y listo para servir.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

Con el objetivo de continuar este proceso investigativo y mejorar tanto las condiciones del proceso como las características de calidad del producto terminado, se recomienda:

1. Para completar el estudio en el producto fresco, se realizar una valoración sensorial y microbiológica que permita concluir de una forma contundente cuales el empaque más adecuado para el producto.
2. Reformular la EIF, de tal forma que permita incrementar su retencion en los espacios intercelulares y asi, mejorar los niveles de fortificación.

## BILIOGRAFÍA INTRODUCCIÓN

ACEVEDO, M.E.; GÓMEZ, J; MARTÍNEZ, A; MEDINA, J; MORNEO, Z; PIZARRO, J; SÁENZ, P; TAMI, L; VERGARA, J; VILLARREAL, A; ZORRO, R. 2004. Grupo Sim. Hongos comestibles y Hongos. Perfil de Producto No. 21. Inteligencia de mercados. Corporación Colombiana Internacional.

ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W. 1996. Introductory micology. Cuarta edición. John Wiley & sons, N.Y. 869p.

ANDRES, A.; SALVATORI, D.; ALBOR, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. 2001. Vacuum Impregnation Viability of some Fruits and Vegetables. In: Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation. Applications in food industries. Ed. P. Fito; A. Chiralt; J.M. B7rat; Walter E.L. Spiess; Diana Behsnlian. Tecnomich. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A. 53-60.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRA. 2000. Hongos y musgos del Valle de aburra. Medellín, Colombia, Área metropolitana del Valle de Aburra. 153p.

BETORET, N.; PUENTES, L.; DÍAZ, M.J.; PAGÁN, M.J. GARCIA, M.J.; GRASS, M.L.; MARTÍNEZ-MONZÓ. J; FITO, P. 2003. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. Journal of Food Engineering, 56: 273-277.

BOBEK, P.; GALBAYY, S. 1999. Hypocholesterolemic and antitherogetic effect of oyster mushroom (*Pleorotus ostreatus*) in rabbit. Nahrung. 43(5): 339-342.

BOBEK, P., OZDYN, L., Y KUNIAK, L. 1995. The effect of oyster (*Pleorotus ostreatus*) its ethanolic extract and extraction residues on cholesterol levels in serum lipoproteins and liver of rat. Nahrung, 39: 98-99.

BROUNS, F.; VERMEERC, C. 2000. Functional food ingredients for reducing the risks of osteoporosis. Trends in Food Science & Technology 11: 22-33.

CARROLL, D.E. Y TARRINGTON, J.B. 1997. Vacuum infiltration process for long term preservation of refrigerated apple slices. Presented at the IFT'97 Annual Meeting, Orlando, June, 14-18.

CHAVARRÍAS, M. 2005. La recolección segura de hongos comestibles. La intoxicación por hongos comestibles en España podría ir de los 200 a los 400 casos al año, según los expertos. Sociedad y consumo. Consuma seguridad.

CHIRALT, A.; FITO, P.; ANDRÉS, A. BARAT, J.M.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. 1999. Vacuum impregnation: a tool in minimally



processing of foods. En: Processing of Foods: Quality Optimization and Process Assessment. Eds: F.A.R. Oliveira y J.C. Oliveira. CRC Press, Boca Ratón. 341-356.

FITO, P. 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of foods. Journal of Food Engineering, 22: 313-328.

FITO, P.; PASTOR, R. 1994. On some diffusional mechanism occurring Vacuum Osmotic Dehydration (VOD). Journal of Food Engineering, 21: 513-519.

FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. 1996. Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxation Phenomena during Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. Journal of Food Engineering, 27: 229-240.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BETORET, N.; GRASS, M.; CHÁFER, M.; MARTINEZ-MONZO, J.; ANDRÉS, A.; VIDAL, D. 2001a. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. Journal of Food Engineering, 49: 175-183.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J.M.; ANDRÉS, A.; MARTINEZ-MONZO, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. 2001b. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. Journal of Food Engineering, 49: 297-302.

GARCÍA, A. 2007. Desarrollo de hongos comestibles, *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesados fortificados con calcio, selenio y vitamina C por aplicación de la técnica de impregnación a vacío. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Alimentos. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

GRASS, M.; VIDAL-BROTONS, D.; BETORET, N.; CHIRALT, A.; FITO, P. 2003. Calcium Fortification of vegetables by vacuum impregnation Interactions with cellular matrix. Journal of Food Engineering, 56: 279-284.

GUZMAN, G. 1994. Fungi in traditional medicine in Mesoamerica and Mexico. Revista Iberoamericana de Micología, 11(3):81-85.

HINCAPIÉ, J.G. 1993. Fertilización mineral del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Tesis de grado Ingeniero Agronomo. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 91p.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar- ICBF, 2005. Plan Nacional de Alimentación y Nutrición. Bogotá, Colombia.

MANZI, P., AGUZI, A.; PIZZOFERRATO, L. 2001. Nutritional value of mushroom widely consumed in Italy. Food Chemistry, 73: 321-325.

MANZI, P., Y PIZZOFERRATO, L. 2000. Beta glucans in edible mushrooms. Food chemistry. 68: 315-318.

MARTÍNEZ-MONZÓ, J. 1998. Cambios físico-químicos en manzanas Granny Smith asociados a la impregnación a vacío. Aplicaciones en congelación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; BARAT, J.M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A.; FITO, P. 2000. Changes in thermal properties of apple due to vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 43 (4), 213-218.

MAYALA, B.J., ALANIS, M.G., GONZALEZ DE M., E., GARCIA, C.L., MARTINEZ, F. Y BARBOSA, E. 1999. Calidad proteínica de tres cepas mejicanas de hongos comestibles (*Pleorotus ostreatus*). Archivos latinoamericanos de nutrición, 49 (1): 81-85.

MAZZA, G. 2000. Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza. Editorial Acribia S.A. España.

MENDAZA, R.; DIAZ, G. 1981. Los hongos comestibles. Bilbao, España. Editorial Vizcaína. 389p.

MORENO, R. 2000. Nutricion y dietetica para tecnólogos en alimentos. Ed. Diaz de Santos. pp.287.

MUNTADA, V.; GERSCHENSON, L.N.; ALZAMORA, S.M.; CASTRO, M.A. 1998. Solute infusion effects on texture of minimally processed kiwifruit. *Journal Food Science*, 63: 616-620.

PITT, R.E. 1992. Viscoelastic properties of fruit and vegetables. En: Rao, M.A.; Steffe, J.F., eds. *Viscoelastic Properties of foods*. London: Elsevier Science; 49-76.

RAMARATHNAM N.; OCHI, K.; TAKEUCHI M. 1996. Antioxidant defense in Vegetable extracts. En: *Natural Antioxidants Chemistry, health effects and applications*. Shaidi F (Ed): 76 -78.

RODRÍGUEZ, N., Y JARAMILLO, C. 2005. Cultivo de hongos comestibles del género *Pleorotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. Boletín técnico Cenicafé, No. 27, 56p.

ROSAS-ROMERO, A. 2004. La autooxidación y la rancidez oxidativa. Libro: *Nuevas Fuentes de Antioxidantes Naturales*. 261-272.

SALVATORI, D; ANDRÉS, A.;CHIRALT, A.; FITO, P. 1998a. Structural and Compositional profiles in osmotically Dehydrated Apple. Journal of Food Science, 63(3): 1-5.

SALVATORI, D; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. 1998b. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. Journal of Food Engineering, 21: 59-73.

SHAM, P.Y.; SCAMAN, T.D.; DURANCE, T.D. 2001. Texture of Vacuum Microwave Dehydrated Apple Chips as affected by Calcium Pretreatment, Vacuum Level, and Apple Variety. Journal of Food Science, 66 (9): 1341-1347.

SUNANTA, P., SURANG, A.; NARANIN, M. 1986. Biochemical and biological evaluation of nutritional quality of mushrooms. Bangkok, Tailandia, Korn Univ. 132p.

THOMAS, P.R.; EART, R. (eds) 1994. Enhancing the food supply. En Opportunities in the Nutrition and Food Sciences: 98-142, Washington, D.C, National Academy Press.

TYMOSCHOUK, A. 2004. Mercado y Tecnologías de Extracción de Antioxidantes: Instituto de Desarrollo y Diseño INGAR, Libro: Nuevas fuentes de Antioxidantes Naturales. p. 31-44.

#### Páginas Web

- [www.consumer.es](http://www.consumer.es), fecha de consulta: 21 de abril 2009
- [www.dane.org](http://www.dane.org), fecha de consulta: diciembre 14 de 2008
- [www.fao.org](http://www.fao.org), fecha de consulta: noviembre 11 de 2008.
- [www.socmicolmadrid.org](http://www.socmicolmadrid.org). Cultivo de hongos comestibles y hongos de interés gastronómico y medicinal. Manjón, J. L. Universidad de Alcalá de Henares. Fecha de consulta: 5 de junio, 2009.

## ANEXO 1

### INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS EN LA REVISTA MvZ de la Universidad de Córdoba, ISSN 0122-0268 *versión impresa*.

**Alcance y política editorial.** La Revista MVZ Córdoba es el órgano oficial de difusión de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Córdoba. La revista publica artículos originales de investigación, artículos técnicos, revisiones de literatura, revisiones de tema, comunicaciones breves e informes de casos que a juicio del Comité Editorial sean de interés. Los temas que publica la Revista MVZ Córdoba están relacionados con la medicina veterinaria, zootecnia, acuicultura, biología, biotecnología, ciencias básicas biomédicas y otros tópicos de interés de las ciencias agropecuarias. La revista está dirigida a los profesionales de la medicina veterinaria, zootecnia, salud pública humana y animal, acuicultura, biología, ciencias básicas biomédicas y biotecnología.

**Evaluación de Artículos.** Los artículos recibidos para publicación, después de constatar que cumplen con las normas expresas de Revista MVZ Córdoba, serán enviados a pares que conforman el Comité Científico para su respectiva evaluación. En caso de recibir algún manuscrito que por su especialidad de contenido no pueda ser evaluado por los miembros del comité, éste será remitido a sendos evaluadores pertenecientes a la comunidad científica nacional o internacional.

**Forma y preparación de manuscritos.** La revista publica artículos originales de investigación, artículos técnicos, revisiones de literatura, revisiones de tema, comunicaciones breves e informes de casos que a juicio del Comité Editorial sean de interés. Los temas que publica la Revista MVZ Córdoba están relacionados con la medicina veterinaria, zootecnia, acuicultura, biología, biotecnología, ciencias básicas biomédicas y otros tópicos de interés de las ciencias agropecuarias.

La revista MVZ Córdoba se acoge a los requisitos generales de uniformidad para revistas biomédicas consignadas en las “Normas de Vancouver”. Los interesados en publicar deberán enviar al Editor una carta remisoría firmada por todos los autores declarando expresamente que el artículo remitido no ha sido publicado previamente y se indicará que los autores no tienen conflicto de intereses. Se deberá enviar dos copias impresas del artículo, escritas en procesador de palabras, a doble espacio, en papel tamaño carta, en tinta negra por una sola cara de la hoja, con letra times new roman a 12 puntos y un C.D. (estos originales no se devolverán) o por correo electrónico. Las márgenes no deben ser inferiores a 3 cm. y las páginas se numerarán consecutivamente incluyendo todo el material. Se aceptan artículos en español e inglés. La revista MVZ Córdoba se acoge a los requisitos generales de uniformidad para revistas biomédicas (normas de Vancouver). En la sección Instrucciones a los autores, se puede obtener la información al respecto. También el documento se puede conseguir directamente en el sitio web: <http://apps.unicordoba.edu.co/revistas/revistamvz/index.htm>.

**Secciones.** Editorial, artículos de opinión, artículos originales, artículos técnicos, revisiones de literatura, revisiones de tema, comunicaciones breves e informes de casos.

### **Instrucciones para los autores**

**Título del artículo:** deberá ir en español e inglés. Este último deberá ir debajo del primero dejando doble espacio y en tamaño de letra menor que el principal. El título deberá ser preciso pero informativo y en lo posible no debe superar las 15 palabras.

**Nombre, apellido del autor o autores.** Para el segundo apellido solo se colocará la inicial en mayúscula seguida de coma. Se deberá incluir la filiación institucional de los autores (institución, dirección, ciudad, país). Se deberá indicar además, el responsable de la correspondencia del manuscrito suministrando su correo electrónico.

**Resumen:** Deber ser estructurado y será máximo de 250 palabras. Deberá ofrecer una idea clara del contenido del artículo incluyendo: Objetivo, materiales y métodos, resultados y conclusiones. Estas secciones deberán ir con negrilla y luego punto seguido en donde se inicia el texto de cada sección. **Palabras clave:** Son términos cortos que ayudan a la clasificación del artículo. Se sugiere emplear 6 como máximo. Utilice los términos de la lista “Medical subject headings” (Mesh) u otro descriptor acorde con el tema de investigación. (DeCS, BIREME, NLM, etc.).

**Abstract:** (resumen traducido al inglés). Debe poseer una estructura y contenido igual al español. **Key words:** Palabras clave, deben ser iguales a las de español, pero en idioma inglés.

**Introducción:** Debe indicar claramente el propósito de la investigación, relacionando igualmente en forma selectiva la literatura pertinente. No incluya datos ni conclusiones del trabajo que está dando a conocer. Al finalizar esta sección deberá hacerse con el objetivo general.

**Materiales y métodos:** Se debe describir claramente los procedimientos empleados en la investigación, incluyendo diseño estadístico y análisis de datos. Esta sección deberá ser estructurada indicando tipo de estudio, sitio, condiciones geo-climáticas, coordenadas del sitio de estudio, pacientes o animales de estudio, métodos de laboratorio, aspectos éticos, análisis de resultados, etc. Estas secciones deberán ir con negrilla y luego punto seguido en donde se inicia el texto de cada sección.

**Resultados:** Corresponde a la información de los hallazgos pero sin incluir comentarios ni referencias a otros trabajos. Se sugiere utilizar tablas y figuras, las cuales no deberán ser más de seis en lo posible.

**Discusión:** Es la interpretación de los resultados obtenidos y la contrastación de los mismos con otros estudios. Se debe destacar las limitaciones del estudio e igualmente evitar especulaciones. Resaltar las conclusiones del estudio, así como las recomendaciones para futuras investigaciones.

**Agradecimientos:** Mencionar las personas o instituciones que han colaborado con la investigación (financiera, logística, intelectual, entre otras).

**Correspondencia:** Nombre completo del autor responsable, dirección laboral y residencial, correo electrónico, teléfono celular y teléfono fijo. Esta información puede ser suministrada en la carta remisoría o en una hoja al final del artículo remitido.

**Referencias bibliográficas:** Deben numerarse consecutivamente según el orden en que se mencionen por primera vez en el texto por medio de números arábigos colocados entre paréntesis. La lista de referencias se iniciará en hoja aparte, en estricto orden de aparición en el texto, no será en orden alfabético. Para los artículos originales no se aceptarán más de 30 referencias. Para revisiones de literatura hasta 50 referencias. Para la presentación de casos y comunicaciones breves hasta 12 referencias. Como guía general a continuación se presentan ejemplos de referencias bibliográficas. La información general puede ser encontrada en la sección de instrucciones a los autores en el sitio web. <http://apps.unicordoba.edu.co/revistas/revistamvz/index.htm>.

**Revistas:** Nombre del autor o autores, título completo del artículo referenciado, abreviatura internacional del nombre de la revista, año, volumen, paginas incluidas. Las abreviaturas internacionales pueden consultarse en “Journals database” de PubMed, “Catalogo C 17”, “DREV”, Revistas de biomedicina del IHCD de Valencia.

**Envío de manuscritos:** Enviar correo ordinario o por medio electrónico al Editor o Coeditor de la Revista MVZ Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Apartado aéreo No 354. Teléfonos: (57) (4) 8940507 / 7560209 / 7560710. Manuscritos y correspondencia: [revistamvz@unicordoba.edu.co](mailto:revistamvz@unicordoba.edu.co) / [mgonzalez@sinu.unicordoba.edu.co](mailto:mgonzalez@sinu.unicordoba.edu.co) / [marcog@escarsa.net.co](mailto:marcog@escarsa.net.co) / [mattarsalim@hotmail.co](mailto:mattarsalim@hotmail.co)

**Reproducción e impresos:** Se autoriza la fotocopia de artículos para fines de uso académico o interno de las instituciones, citando la fuente. Para impresos dirija la solicitud a Revista MVZ Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Apartado aéreo No 354.

## ANEXO 2

### INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS EN LA REVISTA Vitae, ISSN 0121-4004 *Versión impresa.*

#### ***Alcance y política editorial:***

1. La Revista VITAE es una publicación oficial de la Facultad de Química Farmacéutica, de periodicidad semestral, y tiene como misión la divulgación del pensamiento científico y el quehacer a nivel investigativo en lo relacionado con los diversos campos de las ciencias farmacéuticas, alimentarias y afines.
2. Posición de la revista. La opinión de la Facultad frente a los diversos temas de interés se consigna a través de sus páginas editoriales. La responsabilidad por los juicios, opiniones y puntos de vista expresados en los artículos publicados corresponde exclusivamente a sus autores.
3. Reserva de derechos. El estudio y la selección de los artículos enviados por los colaboradores para su publicación en la revista, están a cargo del Comité Editorial y el Comité Científico. La recepción de un trabajo no implica su publicación ni el compromiso por parte del Comité Editorial con respecto a su fecha de aparición; así mismo, se reserva el derecho de realizar las modificaciones editoriales que a su juicio sean necesarias para la publicación en la revista. Los artículos deben ser originales e inéditos y se publicarán en estricto orden de recepción y aprobación. Antes de la publicación de un artículo, uno de sus autores deberá firmar una carta donde declare que el contenido de dicha publicación no es ni será publicado en otra revista.

#### ***Clases de artículos:***

La Revista VITAE publicará las siguientes clases de artículos: Revisiones, Artículos completos, Artículos Cortos, Clasificación de artículos.

Todos los artículos serán clasificados en alguna de las siguientes secciones:

- a. Ciencias básicas.
- b. Ingeniería y Tecnología de Alimentos.
- c. Atención Farmacéutica.
- d. Biotecnología.
- e. Farmacología y Toxicología.
- f. Industrial Farmacéutica.
- g. Productos Naturales.

Otras secciones: Cartas al Editor, Notas académicas y profesionales, Preguntas y respuestas. En Otras Secciones sólo se publicará una colaboración por cada modalidad.

### ***Forma y preparación de manuscritos:***

**1. Presentación.** Todo artículo debe ceñirse a las normas de publicación de artículos del último número de la revista. Los trabajos enviados para su publicación deben dirigirse a la Secretaría de la Facultad de Química Farmacéutica: un original y dos copias en papel; no debe exceder de 25 páginas en tamaño carta, con márgenes simétricas de 2,5 cm; a doble espacio en su totalidad. Además, se debe acompañar de una copia en medio magnético, preferiblemente en Word bajo Windows®. El texto debe digitarse sin formato, utilizando tipo de letra Times New Roman con tamaño de 12 puntos. Se admite la copia magnética enviada por correo electrónico, mientras se remite el original en papel impreso con todas las especificaciones antes mencionadas. Cada artículo debe ser complementado con sus respectivas tablas y figuras previamente referidas en el texto, así: (Véase tabla 3) y (Véase figura 1). \* Símbolos. El autor debe tener en cuenta en la redacción las Normas del Sistema Internacional (SI), en lo referente a unidades, símbolos y abreviaturas. \* Nombres comerciales. Se evitará el empleo de nombres comerciales; en su lugar se utilizarán los genéricos, pero si es inevitable se indicará con el símbolo ®.

El artículo debe acompañarse de la hoja de vida actualizada del autor o autores; además especificar lo siguiente: Si fue derivado de una investigación, cuál es el nombre del proyecto de investigación, fecha de inicio y de culminación, entidad que lo financió y si tiene algún programa de investigación asociado, cuál es éste.

**2. Redacción del texto.** En la primera página deben aparecer: título del trabajo (en español y en inglés), autores (primer nombre completo e inicial del segundo y primer apellido en mayúscula e inicial del segundo) e institución donde se ha realizado el trabajo, incluyendo la dirección postal, dirección electrónica y telefax de la persona a quien se debe dirigir la correspondencia.

**3. Resumen.** Se debe incluir un resumen (máximo de 200 palabras) en español y en inglés, el cual debe estar redactado en tiempo presente, en un sólo párrafo y debe contener:

1. Presentación del tema
2. Una hipótesis
3. Uno o dos argumentos
4. Resultados
5. Conclusiones.

A continuación del resumen se deben incluir hasta cinco palabras clave en español y en inglés.

**4. Revisiones.** Documentos donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta sus avances y las tendencias en su desarrollo.

Los trabajos de revisión estarán dedicados a estudios de actualización sobre un tema específico, bien documentados y realizados por expertos en el tema. Debe incluir la evolución durante un período de tiempo las perspectivas de su desarrollo con énfasis en el significado de los hallazgos recientes. Deben presentar una descripción general del campo en cuestión, con una evaluación crítica de su desarrollo.



La estructura y encabezamiento de los trabajos de revisión quedan a criterio del autor, si bien el Comité Editorial puede sugerir cambios que mejoren la edición. Las referencias bibliográficas seguirán las reglas establecidas para los artículos originales completos y deben estar actualizadas, con un mínimo de 50 referencias bibliográficas citadas en el texto. En la introducción del artículo se debe definir un período de revisión bibliográfica no inferior a un año y las fuentes de información consultadas.

**5. Artículos Completos.** En estos se publicarán los resultados, análisis y conclusiones de mayor alcance en el campo de las ciencias farmacéuticas, alimentarias y afines, que no hayan sido publicados previamente.

Cuando se trate de estandarización de métodos analíticos, éstos deben ser validados bajo normas internacionales.

Tendrán una extensión máxima de 25 páginas, incluyendo tablas, figuras y referencias bibliográficas. En los trabajos experimentales se deben presentar los siguientes apartados:

1. Introducción, en la cual se expondrán los fines y objetivos; se hará referencia explícita a todo trabajo anteriormente publicado por el mismo autor o por otro, si el conocimiento de esos trabajos es esencial para situar al lector en el desarrollo del texto presentado. Una parte experimental ó de materiales y métodos, que sólo contendrá los datos necesarios para la reproducción de los experimentos. Resultados. Discusión de resultados. Agradecimientos, cuando se considere necesario. Referencias bibliográficas.

**6. Artículos Cortos.** En estos se publicarán los resultados, análisis y conclusiones definidas y rigurosas, pero limitados aún en su alcance, de aquellos trabajos relacionados con las ciencias farmacéuticas alimentarias y afines, cuyo interés justifique que se tenga información sobre el tema.

Tendrán una extensión máxima de 15 páginas, incluyendo tablas, figuras y referencias bibliográficas. La estructura será la misma que para los Artículos Completos. Se recomienda en estos casos presentar un solo apartado para Resultados y Discusión.

**7. Referencias Bibliográficas.** Las referencias deben colocarse al final del artículo, dándoles números correlativos según el orden en que aparezcan por primera vez en el texto; se identificarán en el texto mediante números arábigos entre paréntesis. Deberán estar ordenadas numéricamente bajo el título Referencias Bibliográficas.

A partir de este número las referencias bibliográficas de los manuscritos presentados a la revista Vitae se regirán por las Normas Vancouver (ver documento en Internet).

**8. Tablas y figuras.** Se debe tener en cuenta lo siguiente: Las tablas y figuras serán numeradas en el orden en que aparecen citadas en el texto, utilizando números arábigos. En las tablas se incluyen cuadros y en las figuras todas las ilustraciones como fotografías, dibujos y gráficos. No usar colores ni en las gráficas ni en las figuras. Los datos que aparecen en las tablas y figuras no se duplicarán en el texto. El número de figuras se limitará al mínimo, procurando yuxtaponer

aquellas gráficas que sin perjuicio de la claridad, pueden referirse al mismo sistema de coordenadas. Todas las tablas y figuras deben contener la fuente de donde han sido tomadas; si ésta no aparece se asumirá que son creación del autor. El título de las figuras se digita como un párrafo ordinario fuera de la figura en la parte inferior y el título de las tablas en la parte superior.

***Revisión de originales:***

El Comité Editorial revisará los originales, se asesorará, cuando lo requiera, de personal adecuadamente calificado y devolverá a los autores aquellos cuyo contenido no se ajuste a las presentes normas, solicitando, en todo caso, las modificaciones que estime oportunas.

Selección. El Comité Editorial remitirá todos los artículos que cumplan las normas editoriales como mínimo a dos árbitros, quienes deben emitir su concepto por escrito en el formato establecido para ello. Si los árbitros sugieren correcciones, los autores deberán enviar la nueva versión por duplicado acompañada del medio magnético en un plazo máximo de doce días a partir de la fecha de envío, pasado el cual perderá su turno de publicación. En la corrección de pruebas de impresión final, que deberá realizarse con gran atención, no se admitirán modificaciones al texto original.

Por último, a todo autor principal se le retribuirá por su colaboración con tres ejemplares del número de la revista en el cual fue publicado su artículo. Además, los autores de artículos seleccionados para publicación deben estar suscritos a la revista.

## ANEXO 3

### **INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS EN LA REVISTA de la Facultad de Ingeniería, ISSN 0120-6230 *Versión impresa.***

**Alcance y política editorial:** Los autores interesados en publicar artículos en la Revista de la Facultad de Ingeniería - UdeA, deben enviar sus trabajos según las instrucciones a los autores que se detallan más abajo. Los temas se enmarcan en las siguientes áreas de la ingeniería, o disciplinas afines: Electrónica, Eléctrica, Sistemas y Computación, Mecánica, Química, Ambiental, Materiales, Sanitaria, Civil y Bioingeniería.

Como derechos de autor se reconoce un ejemplar de la Revista en la cual se publica la colaboración, que se envía a cada autor.

### **PROCESO DE ARBITRAJE DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN LA REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA - UdeA**

Una vez recibido el artículo el Editor verifica que el contenido sea apropiado para la revista y que se haya preparado el manuscrito siguiendo las instrucciones para los autores. Seguidamente se prepara una hoja de control para seguir el progreso de la evaluación del artículo. La hoja de evaluación incluye: el o los nombres de los autores, la dirección (postal y electrónica) del autor de la correspondencia, el título del artículo, los nombres y las direcciones de los evaluadores, la fecha de envío a los evaluadores, la recomendación de éstos, la decisión tomada por el Comité Editorial luego de la evaluación y la fecha de aceptación o de rechazo del artículo.

El Editor enviará el artículo al menos a dos evaluadores. Los evaluadores tendrán trayectoria reconocida en áreas relacionadas con el tema del artículo. Los evaluadores recibirán el manuscrito, además de una hoja de evaluación para consignar sus comentarios y recomendaciones sobre la aceptación o rechazo del artículo.

Después de recibir la evaluación el Comité Editorial toma una decisión sobre la publicación del artículo, basado en el concepto de los pares evaluadores. La decisión puede ser:

**Aceptar el artículo con modificaciones:** El Editor devolverá el trabajo con las evaluaciones de los pares, para que el autor de correspondencia lleve a cabo las modificaciones sugeridas. Una vez se reciba el artículo corregido, el Comité Editorial revisará el artículo y tomará una decisión final.

**Rechazar el artículo:** El Editor devolverá el artículo con las evaluaciones e informará las razones para no publicarlo en su forma actual.

### **Forma y preparación de manuscritos:**

1. Presentar trabajos inéditos en español o inglés.
2. Los artículos no deben exceder de 25 páginas en tamaño carta, en letra Times New Roman de 12 puntos y a doble interlinea, con márgenes simétricas de 2,5 cm, y numeradas consecutivamente. El artículo debe contener: título en español e inglés, resumen en español e inglés, palabras clave en español e inglés, introducción, experimentación, resultados y discusión,

conclusiones, agradecimientos (opcional), referencias. Las tablas deben ir en el texto inmediatamente después de haber sido citadas, las figuras deben ir al final del texto o en un archivo aparte en formato jpg.

**3.** El Comité Editorial se reserva el derecho de ajustar el artículo para mantener la uniformidad en el estilo de la Revista.

**4.** Informar los datos del autor a quien debe dirigirse la correspondencia: nombre, dirección postal, correo electrónico, institución donde labora, teléfono, fax.

**5.** Enviar el archivo del artículo, digitado en Word (2000 en adelante), por correo electrónico, disquete o CD debidamente marcado. Todos los artículos serán evaluados por pares. Los autores deben suministrar todos los detalles de contacto, incluyendo los correos electrónicos de cinco evaluadores potenciales. Los evaluadores deben ser expertos en el tema del artículo y no deben estar vinculados a la institución a la cual están afiliados los autores.

**6.** Instrucciones especiales para la digitación:

**a.** El texto debe digitarse sin formato, en letra Times New Roman de 12 puntos.

**b.** Los párrafos se justifican, sin dejar espacio entre los consecutivos y sin partir las palabras.

**c.** No dejar más de un espacio entre palabras; después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto y seguido, se debe dejar un solo espacio.

**d.** No incluir saltos de página o finales de sección.

**e.** Los guiones tipográficos deben ser largos y tocar la palabra adjunta: —, pero el que se usa entre palabras y números es el del teclado, y sin dejar espacios, ejemplo: físico-químico, 1999-2000.

**f.** Las ecuaciones se levantan en el procesador incluido en Word, en letra Times New Roman de 12 puntos.

**g.** Los símbolos de las constantes, variables y funciones, en letras latinas o griegas, incluidos en las ecuaciones, deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación.

**h.** Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino letra cursiva.

**i.** Las figuras deben ir nombradas y referidas en el artículo, en estricto orden y con un título descriptivo. Las fotografías, diagramas, mapas se deben nombrar como figuras. Las figuras que no se incluyan en formato electrónico deben ser enviadas como fotografías por correo postal.

**j.** El título de las figuras se digita como un párrafo ordinario fuera de la imagen.

**k.** El texto de las figuras se debe levantar en letra Times New Roman de 12 puntos.

**l.** El texto de las figuras no debe ir en mayúscula sostenida.

**m.** No se presentan cuadros sino tablas, y éstas se deben levantar automáticamente desde el procesador de textos sin filetes. Las tablas no deben duplicar resultados presentados en el artículo de otra forma, por ejemplo en figuras.

**n.** En los artículos escritos en español los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto; y los millares y millones con un punto.

**o.** Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional, SI.

**p.** No usar colores ni en gráficos ni en figuras.

**q.** El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, mediante un número entre corchetes, al nivel del texto y separado de la palabra anterior por un espacio. Al final, se enumeran las referencias en estricto orden descendente.

7. Las citas, referencias bibliográficas y hemerografías se incluyen al final del artículo, después de agradecimientos (si está presente). Las referencias deben estar basadas en revistas indexadas, libros o patentes (evitar el uso de información obtenida de Internet) y debe ser presentada en la siguiente forma:

**a.** Para artículos de Revistas: 1. K. H. Sandhage, M. B. Dickerson, P. M. Huseman, M. A. Caranna, J. D. Clifton, T. A. Bull, T. J. Heibel, W. R. Overton, M. E. A. Schoenwaelder, “Novel, Bioclastic Route to Self-Assembled, 3D, Chemically Tailored Meso/Nanostructures: Shape-Preserving Reactive Conversion of Biosilica (Diatom) Microshells,” *Adv. Mater.* Vol. 14. 2002. pp. 429-433.

**b.** Para capítulos de memorias o libros: 2. P. J. Wurm, P. Kumar, K. D. Ralston, M. J. Mills, K. H. Sandhage, “Fabrication of Dense, Lightweight, Oxide-Rich, Oxide/Aluminide Composites at 1000 °C by the Displacive Compensation of Porosity (DCP) Process”, F. D. S. Marquis, N. N. Thadhani, E. V. Barrera, *Powder Materials: Current Research and Industrial Practices*, Eds. Warrendale, PA, The Minerals, Metals, and Materials Society, 2001. pp. 129-139.

**c.** Para patentes: 3. K. H. Sandhage, R. R. Unocic, M. B. Dickerson, M. Timberlake, K. Guerra, “Method for Fabricating High-Melting, Wear-Resistant Ceramics and Ceramic Composites at Low Temperatures”, U.S. Patent N.º 6,598,656. July 29. 2003.

**d.** En caso de una referencia tomada de Internet se debe escribir el nombre del URL del sitio y la fecha de consulta.

8. Evitar las notas de pie de página; en caso de ser muy necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.

9. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis, y en lo subsecuente se escribe solo la sigla o abreviatura respectiva.

10. Un artículo sometido a consideración de la Revista no se debe haber publicado previamente, ni debe estar sometido a otra publicación. Si el artículo es aceptado, no se debe publicar en otra Revista o libro aunque sea en otro idioma. Por tratarse de una Revista arbitrada, el Comité Editorial aprueba la publicación de los artículos con base en el concepto de pares evaluadores especializados.

11. Como derechos de autor se reconoce un ejemplar de la Revista en la cual se publica la colaboración, que se envía a cada autor.

#### ***Envío de manuscritos:***

Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia Ciudad Universitaria Calle 67 No. 53-108. Bloque 18, oficina 141, Medellín, Colombia Sudamérica, Teléfono: 2195574

Correo electrónico: [revista.ingenieria@udea.edu.co](mailto:revista.ingenieria@udea.edu.co)

Página web: <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/>